



Tesis - RC142501

ANALISA PENANGGULANGAN BANJIR SUNGAI KARANG MUMUS SAMARINDA

Riyan Benny Sukmara
NRP. 3113 205 005

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M.Sc.
Dr. Ir. Edijatno, CES., DEA.

Program Pascasarjana
Manajemen dan Rekayasa Sumber Air
Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



Thesis - RC142501

FLOOD CONTROL ANALYSIS OF KARANG MUMUS RIVER SAMARINDA

Riyan Benny Sukmara
NRP. 3113 205 005

Supervisors

Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M.Sc.
Dr. Ir. Edijatno, CES., DEA.

Postgraduate Program
Water Resources Engineering and Management
Department of Civil Engineering
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

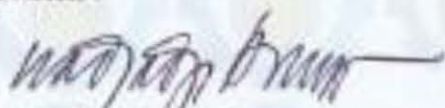
ANALISA PENANGGULANGAN BANJIR SUNGAI KARANG MUMUS SAMARINDA

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
oleh :

RIYAN BENNY SUKMARA
NRP. 3113 205 005

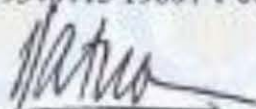
Tanggal Ujian : 15 Januari 2015
Periode Wisuda : Maret 2015

Disetujui oleh :



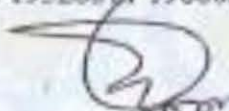
1. Prof. Dr. Ir. Nadiadji Anwar, M.Sc.
NIP. 19540113 19801 1 001

(Pembimbing I)



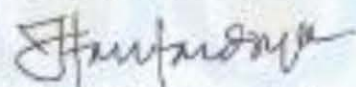
2. Dr. Ir. Edijatno, CES., DEA.
NIP. 19520311 198003 1 003

(Pembimbing II)



3. Dr. techn. Umboro Lasminto, ST., M.Sc.
NIP. 19721202 199802 1 001

(Pengaji)



4. Dr. Ir. Wasis Wardono, M.Sc.
NIP. 19610927 198701 1 001

(Penguji)



Direktur Program Pascasarjana

Prof. Dr. Ir. Adi Soepriyanto, M.T.
NIP. 19640405 199002 1 001

ANALISA PENANGGULANGAN BANJIR SUNGAI KARANG SAMARINDA

Oleh : Riyan Benny Sukmara
NRP : 3113 205 005
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M.Sc.
Dr. Ir. Edijatno, DEA

ABSTRAK

Kota Samarinda terletak pada SubDAS Karang Mumus dan memiliki sungai utama yaitu Sungai Karang Mumus. Sungai Karang Mumus sendiri merupakan muara dari anak-anak sungai pada SubDAS Karang Mumus dan menjadi muara dari saluran-saluran drainase Kota Samarinda. Permasalahan banjir di Samarinda karena adanya indikasi ketidakmampuan sungai Karang Mumus dalam mengalirkan debit yang berasal dari subsub DAS pada SubDAS Karang Mumus. Untuk menanggulangi hal tersebut Pemerintah Kota Samarinda telah berupaya dengan membangun Waduk Benanga sebagai pengendali banjir, namun berdasarkan data pengukuran tahun 2001 dan 2010 terdapat penurunan kapasitas tampungan dari waduk Benanga, sehingga hal ini juga memiliki indikasi menjadi penyebab banjir pada Sungai Karang Mumus (SKM). Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan pendekatan penanggulangan banjir dengan beberapa alternatif pengendalian banjir. Analisa debit banjir pada penelitian ini menggunakan metode *SCS Curve Number* pada HEC-HMS dan analisa profil muka air sunga menggunakan *Unsteady Flow Analysis* pada HEC-RAS.

Hasil analisa penanggulangan banjir diketahui bahwa penurunan kapasitas tampung waduk tidak berpengaruh signifikan, terbukti saat dilakukan normalisasi waduk, nilai reduksi debit banjir yang dihasilkan hanya 13%. Setelah upaya normalisasi waduk tidak menunjukkan hasil yang baik, maka dilakukan upaya dengan menggunakan bangunan pengendali banjir (Bendali). Hasil analisa menggunakan 6 Bendali rencana dan tambahan 4 potensi Bendali baru menunjukkan peningkatan nilai reduksi yang mencapai angka 50%. Dari nilai reduksi yang cukup baik, tinjauan dilakukan pada profil muka air bagian hilir. Hasil analisa menunjukkan pasang-surut Sungai Mahakam berpengaruh signifikan dalam perubahan muka air bagian hilir, sehingga perlu perbaikan pada penampang sungai. Perbaikan penampang dilakukan dengan penambahan tanggul sampai elevasi +4m pada ruas yang terpengaruh *backwater*.

Kata kunci: Karang Mumus, Banjir, Benanga, Normalisasi

FLOOD CONTROL ANALYSIS OF KARANG MUMUS RIVER SAMARINDA

By : Riyan Benny Sukmara
Reg. Number : 3113 205 005
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M.Sc.
Dr. Ir. Edijatno, DEA

ABSTRACT

Samarinda city is located in Karang Mumus SubBasin, and is part of the Mahakam River Basin. Karang Mumus SubBasin has major rivers namely Karang Mumus river. Karang Mumus river is the estuary of the tributaries on Karang Mumus SubBasin and also as the estuary of Samarinda drainage channels. Flooding problems in Samarinda is due to inability indication of Karang Mumus river to flows the discharge from lateral flow of creeks and drainage channels of Samarinda. To overcome that problem, Government of Samarinda has sought to build Benanga Dams, but based on the measurement data of 2001 and 2010 there show decrease in storage capacity of Benanga Dam. It also has an indication of the cause of flooding in the Karang Mumus river. Therefore, in this study will be do the prevention approach of Karang Mumus river with normalized Benanga Dam and use several development scenarios dam. Analysis of flood discharge in this study use SCS Curve Number Method on the HEC-HMS and water surface analysis use Unsteady Flow Analysis in HEC-RAS.

Based on the flood control analysis results, showed that decrease in capacity of the reservoir does not have significant effect, it was seen as an experiment by doing normalization on Benanga Dams, where the value of flood discharge reduction is only 13%. After Dam's Normalization effort does not show good results, then conducted experiments using the additional flood control structures (dam). The results of a experiments using 6 dam, showed an increase in the value of the reduction reached until 50%, and the experiment with 4 new potential dams have result the discharge reduction value occurred in the middle segment of the Karang Mumus river. After get good value reduction, flood control analysis proses continue to checking the downstream of river. The analysis shows the effect of Mahakam River tidal is very significant to raising the water level at downstream section, so it needs to normalize the river cross section. Normalization carried out using additional embankment at each river cross section. Based on the analysis, additional embankments elevation should be raised to +4m.

Keywords : Karang Mumus, Flood, Benanga, Normalization

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT, atas segala rahmat dan hidayahnya, sehingga penyusunan Tesis ini dapat selesai dengan baik.

Dalam proses penyusunan Tesis ini penulis tidak luput dari bantuan, bimbingan dan arahan dari berbagai pihak, diantaranya :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M.Sc., selaku dosen pembimbing I
2. Bapak Dr. Ir. Edijatno, CES., DEA., selaku dosen pembimbing II
3. Ibu Endah Sri Wahyuni, ST., M.Sc., Ph.D., selaku ketua Program Pascasarjana Teknik Sipil ITS.
4. Bapak Budi Suswanto, ST., MT., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil ITS.
5. Dosen pengajar Program Magister Manajemen dan Rekayasa Sumber Air, Teknik Sipil ITS, atas ilmu dan pengetahuan yang telah diajarkan.
6. Karyawan Laboratorium Teknik Pantai dan Keairan Teknik Sipil ITS (Pak Wardoto dkk.), atas dukungan dan fasilitas yang diberikan.
7. Pengelola Program Pascasarjana ITS, atas beasiswa *Fresh Graduate* yang telah diberikan.
8. Bapak M. Zuraini Ihksan, ST., MT., selaku Kepala Bagian Hidrologi BBWS Kalimantan III, atas bantuan data penelitian yang diberikan
9. Bapak Novida, ST., MT., selaku Pegawai Dinas Bina Marga dan Pengairan Kota Samarinda, atas bantuan data penelitian yang telah diberikan.
10. Bapak Eko Wahyudi, ST., M.Eng, selaku Konsultan Manajemen Sumber Daya Air Dinas Pekerjaan Umum Propinsi Kal-Tim, atas arahan dan bantuan data penelitian yang telah diberikan.
11. Bapak Drs. Mislan, M.Si, selaku dosen FMIPA Universitas Mulawarman, atas arahan penelitian yang telah diberikan.
12. Keluarga tercinta, Ayahanda dan Ibunda (Riyanto dan Sukirah) yang selalu memberikan dukungan serta doanya, hingga saat ini. Adikku

(Suveyan Adhi Laksana) yang selalu membantu dalam proses pengerjaan Tesis ini.

13. Teman-teman seperjuangan Mahasiswa Angk. 2012 Program Pascasarjana Manajemen dan Rekayasa Sumber Air ITS (Andi Patriadi, Hary Puji Astuti, M. Adbul Rohman, Qaryatullailiyah, Paramita, Agustinus H. Pattiraja, Reza Febrivia Luciana, Gemma Galgani, Windari Wahyuningsih, Dodyk Bagus H., Faradila Saves & Rossana Margareth K.), atas kerjasamanya selama kuliah, nanti kumpul lagi.
14. Teman-teman di Samarinda (Priyan Dita A.S., M. Najib, M. Halim Azmy, Reza R., Bang Udin dan Bang Wahyu “Nopek”) yang telah membantu selama proses pengumpulan data dan survey di Samarinda.
15. Elda T.P, atas dukungan dan semangatnya selama pengerjaan Tesis ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan kelemahan dari penyusunan Tesis ini. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk kesempurnaan Tesis ini. Semoga Tesis ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan yang membutuhkannya.

Surabaya, Januari 2015

Riyan Benny Sukmara

Penulis

DAFTAR ISI

Abstrak.....	i
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi.....	v
Daftar Tabel.....	ix
Daftar Gambar	xiii
 BAB I Pendahuluan	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Permasalahan	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
1.6 Lokasi Penelitian	7
 BAB II Tinjauan Pustaka.....	 9
2.1 Banjir	9
2.1.1 Pengendalian Banjir	10
2.2 Sungai	11
2.3 Analisa Hidrologi.....	12
2.3.1 Curah Hujan	12
2.3.2 Analisa Distribusi Frekwensi	16
2.3.3 Uji Kesesuaian Distribusi Frekwensi	19
2.4 Koefisien Pengaliran (C)	21
2.5 Analisa Debit Banjir Rencana	22
2.6 Analisa Hidrolika.....	29
2.6.1 Aliran Saluran Terbuka	29
2.6.1.1 Tipe Aliran.....	31

2.6.1.2	Aliran Berubah Lambat Laun	33
2.6.2	Persamaan Gerak dari Euler	35
2.6.3	Deskripsi Parameter Model	36
2.6.3.1	Koefisien Manning (n)	36
2.6.3.2	Periode Ulang (<i>Return Period</i>)	36
2.7	Bangunan Pengontrol Banjir	37
2.7.1	Waduk	37
2.7.2	Volume Waduk	38
2.7.3	Penelusuran Banjir	39
2.8	Konsep Pemodelan Menggunakan Software	41
2.8.1	Pemodelan Hidrologi	41
2.8.1.1	Gambaran Umum HEC-HMS	41
2.8.1.2	Parameter Input pada HEC-HMS	43
2.8.2	Pemodelan Hidrolika	44
2.8.2.1	Peniruan Geometri Saluran/Sungai	45
2.8.2.2	<i>Unsteady Flow Analysis</i>	46
2.9	Studi/Penelitian Terdahulu	47
BAB III Metodologi Penelitian		53
3.1	Kerangka Penelitian	53
3.2	Penjelasan Bagan Alir	55
3.2.1	Persiapan	55
3.2.2	Pengumpulan Data	55
3.2.3	Analisa	57
3.2.4	Penyusunan Rekomendasi	58
BAB IV Lokasi Studi		59
4.1	Gambaran Umum	59
4.2	Tofografi	63
4.3	Tutupan Lahan	64
4.4	Kondisi Saat Ini	69

BAB V Analisa.....	73
5.1 Analisa Hidrologi.....	73
5.1.1 Curah Hujan Rencana.....	73
5.1.1.1 Analisa Koefisien Thiessen (C_i).....	73
5.1.1.2 Analisa Curah Hujan Harian Rata-rata	75
5.1.1.3 Perhitungan Curah Hujan Rencana	93
5.1.2 Perhitungan Hujan Jam-jam'an	114
5.1.3 Perhitungan Parameter Perhitungan Debit pada HEC-HMS	120
5.1.4 Pemodelan Debit Kondisi Eksisting menggunakan HEC-HMS	128
5.1.4.1 Basin Model	130
5.1.4.2 Reservoir (Tampungan Air)	131
5.1.4.3 Sub Basin Loss Rate Method (Proses Kehilangan Air)	132
5.1.4.4 Sub Basin Transform (Transformasi Hidrograf Satuan Limpasan)	133
5.1.4.5 Reach (Penghubung antar simpul/Junction)	134
5.1.4.6 Meteorological Model (Model Meteorologi)	137
5.1.4.7 Control Specification	138
5.1.4.8 Running Model (Proses Perhitungan Model)	139
5.1.4.9 Hasil Running Model	140
5.2 Evaluasi Kondisi Eksisting	142
5.2.1 Evaluasi Kapasitas Sungai Menggunakan HEC-RAS	142
5.2.1.1 New Project	143
5.2.1.2 Geometric Editing (Input Data Geometri Sungai) ..	144
5.2.1.3 Unsteady Flow Data (Data Aliran Tidak Tetap)	145
5.2.1.4 Unsteady Flow Analysis	152
5.2.1.5 Hasil Analisa	153
5.3 Skenario Penanggulangan Banjir	156
5.3.1 Analisa Penanggulangan Banjir dengan Skenario Rencana	157

5.3.1.1	Skenario I	157
5.3.1.2	Skenario II	161
5.3.1.3	Skenario III	169
5.4	Evaluasi Hasil Penerapan Skenario Penanggulangan Banjir	178
5.4.1	Evaluasi Kapasitas Sungai Setelah Penerepan Skenario Penanggulangan Banjir	183
5.4.2	Upaya Penanggulangan Banjir dengan Normalisasi Penampang Sungai Karang Mumus	187
BAB VI Hasil Analisa dan Rekomendasi		201
6.1	Hasil Analisa	201
6.1.1	Hasil Analisa Kondisi Eksisting	201
6.1.2	Hasil Analisa Alternatif Penanggulangan Banjir (Skenario I)	202
6.1.3	Hasil Analisa Alternatif Penanggulangan Banjir (Skenario II)	203
6.1.4	Hasil Analisa Alternatif Penanggulangan Banjir (Skenario III)	204
6.1.5	Hasil Analisa Alternatif Penanggulangan Banjir Dengan Normalisasi	207
6.2	Rekomendasi	209
BAB VII Kesimpulan dan Saran		213
7.1	Kesimpulan	213
7.2	Saran	214
Daftar Pustaka		217
Tentang Penulis Penulis		221
Lampiran A		223
Lampiran B		235
Galeri Foto Lokasi Studi		255

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Rekapitulasi Daerah Rawan Banjir Samarinda.....	3
Tabel 2.1	Kriteria Penentuan Perhitungan Curah Hujan	12
Tabel 2.2	Nilai Reduksi Gauss.....	18
Tabel 2.3	Nilai Koefisien Pengaliran.....	21
Tabel 2.4	Klasifikasi Jenis Tanah	23
Tabel 2.5	Klasifikasi Sifat Hidrologi Berdasarkan Tekstur Tanah..	23
Tabel 2.6	Klasifikasi Nilai CN Pada Kondisi AMC II	25
Tabel 2.7	Kondisi Kelembaban Tanah Sebelumnya (AMC)	27
Tabel 2.8	Besaran Kala Ulang Sesuai Dengan Jenis Bangunan	37
Tabel 2.9	Metode Pemodelan pada HEC-HMS.....	42
Tabel 2.10	Perbandingan Penelitian Sebelumnya dengan Penelitian yang Dilakukan	48
Tabel 4.1	Sub Sub DAS Karang Mumus.....	61
Tabel 4.2	Komposisi Ketinggian Wilayah Sub DAS Karang Mumus	64
Tabel 5.1	Nilai Koefisien Thiessen Sub Sub DAS Karang Mumus	75
Tabel 5.2	Curah Hujan Maksimum Harian Sta. Pampang.....	75
Tabel 5.3	Curah Hujan Maksimum Harian Sta. Sei Siring.....	76
Tabel 5.4	Curah Hujan Maksimum Harian Sta. Tanah Merah	76
Tabel 5.5	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Karang Mumus Hulu	77
Tabel 5.6	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Pampang Kiri Hulu	77

Tabel 5.7	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Pampang Kiri Hilir.....	78
Tabel 5.8	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Pampang Kanan	79
Tabel 5.9	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Lubang Putang ..	80
Tabel 5.10	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Lantung	81
Tabel 5.11	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Siring.....	82
Tabel 5.12	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Selindung	82
Tabel 5.13	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Tanah Merah	83
Tabel 5.14	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Binangat	84
Tabel 5.15	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Muang	85
Tabel 5.16	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Bayur.....	85
Tabel 5.17	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Benanga.....	86
Tabel 5.18	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Betapus.....	87
Tabel 5.19	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Lempake.....	88
Tabel 5.20	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Bengkuring.....	89
Tabel 5.21	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Lingai	89
Tabel 5.22	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Mugirejo.....	90
Tabel 5.23	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Sempaja.....	91
Tabel 5.24	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Karang Mumus Hilir.....	92
Tabel 5.25	Curah Hujan Maksimum Rata-rata	93
Tabel 5.26	Perhitungan Parameter Distribusi	94
Tabel 5.27	Hasil Perhitungan Curah Hujan Rencana Metode Normal	95
Tabel 5.28	Hasil Perhitungan Y_T	96
Tabel 5.29	Hasil Perhitungan Curah Hujan Rencana Distribusi Gumbel.....	97
Tabel 5.30	Perhitungan Distribusi Log Pearson Tipe III.....	97
Tabel 5.31	Hasil Perhitungan K_T	98
Tabel 5.32	Hasil Perhitungan Curah Hujan Rencana Distribusi Log Pearson Tipe III.....	99
Tabel 5.33	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Parameter Distribusi.....	99

Tabel 5.34	Hasil Perhitungan Interval Nilai X_T Distribusi Normal	101
Tabel 5.35	Hasil Perhitungan χ^2_{Hitung} Distribusi Normal	101
Tabel 5.36	Hasil Perhitungan Interval Nilai X_T Distribusi Gumbel ...	102
Tabel 5.37	Hasil Perhitungan χ^2_{Hitung} Distribusi Gumbel	102
Tabel 5.38	Hasil Perhitungan Interval Nilai X_T Distribusi Log Pearson Tipe III	103
Tabel 5.39	Hasil Perhitungan χ^2_{Hitung} Distribusi Log Pearson Tipe III	103
Tabel 5.40	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Uji Chi Square Sub Sub DAS 1	103
Tabel 5.41	Hasil Pengurutan Data X_i Sub Sub DAS 1	104
Tabel 5.42	Hasil Perhitungan Nilai ΔP_{Hitung} Distribusi Normal	105
Tabel 5.43	Hasil Perhitungan Nilai ΔP_{Hitung} Distribusi Gumbel	106
Tabel 5.44	Hasil Perhitungan Nilai ΔP_{Hitung} Distribusi Log Pearson Tipe III	107
Tabel 5.45	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Uji Smirnof-Kolmogorof	108
Tabel 5.46	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Uji Chi Square Sub Sub DAS Karang Mumus	108
Tabel 5.47	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Uji Smirnof-Kolmogorof Sub Sub DAS Karang Mumus	110
Tabel 5.48	Rekapitulasi Hasil Uji Chi Square dan Uji Smirnof- Kolmogorov	111
Tabel 5.49	Rekapitulasi Hasil Distribusi Hujan Terpilih	113
Tabel 5.50	Rekapitulasi Hasil Pola Distribusi Hujan Jam-jam'an	116
Tabel 5.51	Distribusi Hujan Jam-jam'an pada Sub Sub DAS	116
Tabel 5.52	Hasil Perhitungan Waktu Konsentrasi (Lahan)	123
Tabel 5.53	Hasil Perhitungan Waktu Konsentrasi (Sungai)	123
Tabel 5.54	Rekapitulasi Hasil Perhitungan <i>Time Lag</i>	126
Tabel 5.55	Nilai Curve Number (CN) Masing-masing Sub Sub DAS	127
Tabel 5.56	Hasil Perhitungan Nilai Initial Abstraction	133
Tabel 5.57	Nilai Parameter Input untuk <i>Time Lag</i>	134

Tabel 5.58	Nilai Koefisien Manning (n).....	135
Tabel 5.59	Data Parameter Input Reach	136
Tabel 5.60	Rekapitulasi Debit Puncak Sub Sub DAS	140
Tabel 5.61	Rekapitulasi Debit Puncak Tiap Reach	141
Tabel 5.62	Rekapitulasi Debit Puncak (Outflow) Tiap Junction.....	141
Tabel 5.63	Data Input Parameter Flow Hydrograph pada HEC-RAS (Q=2th).....	147
Tabel 5.64	Data Input Parameter Flow Hydrograph pada HEC-RAS (Q=5th).....	148
Tabel 5.65	Data Input Parameter Flow Hydrograph pada HEC-RAS (Q=10th).....	149
Tabel 5.66	Data Input Parameter Flow Hydrograph pada HEC-RAS (Q=20th).....	150
Tabel 5.67	Data Input Parameter Flow Hydrograph pada HEC-RAS (Q=50th).....	151
Tabel 5.68	Data Lengkung Kapasitas Waduk Benanga Tahun 2001 ..	157
Tabel 5.69	Hasil Running Skenario I.....	158
Tabel 5.70	Data Bendali Rencana pada Skenario II	162
Tabel 5.71	Hasil Analisa Debit Banjir Skenario II.....	166
Tabel 5.72	Data Bendali Potensi pada Skenario III.....	174
Tabel 5.73	Hasil Analisa Debit Banjir Skenario III.....	174
Tabel 5.74	Rekapirulasi Parameter Nilai Reduksi Debit Banjir Hasil Penerapan Skenario Banjir.....	181
Tabel 5.75	Rekapitulasi Perhitungan Alternatif Kemiringan Dasar Sungai	189
Tabel 5.76	Perbandingan Elevasi Dasar Sungai Rencana dan Eksisting.....	190
Tabel 5.77	Hasil Perhitungan Perkiraan Dimensi Normalisasi Penampang Sungai.....	191

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Area Potensi Banjir di Sub DAS Karang Mumus .	2
Gambar 1.2	Lokasi Penelitian.....	7
Gambar 2.1	Pengendalian Banjir dengan Metode Non Struktur dan Struktur.....	11
Gambar 2.2	DAS Dengan Perhitungan Curah Hujan Poligon Thiessen.....	14
Gambar 2.3	Metode Isohyet.....	15
Gambar 2.4	Kurva Distribusi Frekwensi Normal	17
Gambar 2.5	Perbandingan antara Aliran Pipa dengan Aliran Saluran Terbuka	30
Gambar 2.6	Energi dalam Aliran Saluran Terbuka Berubah Beraturan	32
Gambar 2.7	Contoh Berbagai Tipe Aliran	33
Gambar 2.8	Contoh Berbagai Tipe Aliran (Lanjutan)	33
Gambar 2.9	Penggolongan Profil Aliran untuk Aliran Berubah Lambat Laun	34
Gambar 2.10	Skema Tekanan pada Permukaan Suatu Elemen Cairan Berbentuk Paraller Eppipendum.....	35
Gambar 2.11	Zona-zona Volume Waduk	38
Gambar 2.12	Transformasi Hujan Menjadi Aliran (HEC-HMS)	41
Gambar 2.13	Tampilan Awal Program HEC-RAS.....	44
Gambar 2.14	Jendela Editor Geometrik Data	45
Gambar 2.15	Jendela Editor Cross Section Data	45
Gambar 2.16	Jendela Input data Hidrograf.....	46
Gambar 2.17	Tampilan pada Menu Unsteady Flow Analysis	47

Gambar 3.1	Diagram Alir.....	54
Gambar 4.1	Lokasi Studi (Kota Samarinda, Kal-Tim).....	59
Gambar 4.2	Pembagian Sub Sub DAS Karang Mumus.....	60
Gambar 4.3	Pembangian Kelompok Sub Sub DAS Karang Mumus.....	62
Gambar 4.4	Peta Ketinggian Pada Sub DAS Karang Mumus	63
Gambar 4.5	Peta Tutupan Lahan pada Sub DAS Karang Mumus ...	65
Gambar 4.6	Tutupan Lahan Pada SSD Karang Mumus Hulu dan SSD Pampang Kiri Hulu	66
Gambar 4.7	Tutupan Lahan Pada SSD Pampang Kiri Hilir dan SSD Pampang Kanan	66
Gambar 4.8	Tutupan Lahan Pada SSD Lubang Putang dan SSD Lantung	66
Gambar 4.9	Tutupan Lahan Pada SSD Siring dan SSD Selindung..	67
Gambar 4.10	Tutupan Lahan Pada SSD Tanah Merah dan SSD Binangat	67
Gambar 4.11	Tutupan Lahan Pada SSD Muang dan SSD Bayur	67
Gambar 4.12	Tutupan Lahan Pada SSD Benanga dan SSD Betapus.	68
Gambar 4.13	Tutupan Lahan Pada SSD Lempake dan SSD Bengkuring	68
Gambar 4.14	Tutupan Lahan Pada SSD Lingai dan SSD Mugirejo ..	68
Gambar 4.15	Tutupan Lahan Pada SSD Sempaja dan SSD Karang Mumus Hilir	69
Gambar 4.16	Peta Area Potensi Banjir di Sub DAS Karang Mumus	69
Gambar 4.17	Lengkung Kapasitas Waduk Benangan Tahun 2001 dan 2010	70
Gambar 4.18	Kondisi Eksisting Sungai Karang Mumus I (Bagian Hilir).....	71
Gambar 4.19	Kondisi Eksisting Sungai Karang Mumus II (Bagian Hilir).....	71
Gambar 4.20	Kondisi Eksisting Sungai Karang Mumus III	

	(Bagian Hilir)	72
Gambar 4.21	Banjir Kota Samarinda (Bagian Hilir)	72
Gambar 5.1	Pembagian Wilayah Berdasarkan Poligon Tiessen.....	74
Gambar 5.2	Skema Model Elemen Sub DAS Karang Mumus Pada HEC-HMS (Kondisi Eksisting).....	129
Gambar 5.3	Pemodelan Basin Karang Mumus pada HEC-HMS	130
Gambar 5.4	Input Parameter <i>Basin Model</i> pada HEC-HMS	131
Gambar 5.5	Input Parameter Paired Data	131
Gambar 5.6	Input Parameter Reservoir Model	132
Gambar 5.7	Input Parameter Meteorological Model	137
Gambar 5.8	Input Parameter Time Series Data	138
Gambar 5.9	Input Parameter Control Specification.....	138
Gambar 5.10	Pembuatan Perhitungan Simulasi (Simulation Running) pada HEC-HMS	139
Gambar 5.11	Tampilan Proses Running Simulasi pada HEC-HMS...	139
Gambar 5.12	Tampilan Awal Software HEC-RAS	143
Gambar 5.13	Denah Ruas Utama Sungai Karang Mumus.....	143
Gambar 5.14	Kotak Dialog Menu <i>New Project</i> pada HEC-RAS	144
Gambar 5.15	Tampilan Menu Geometric Data pada HEC-RAS	144
Gambar 5.16	Tampilan Kotak Dialog Cross Section Data	145
Gambar 5.17	Tampilan Jendela Input Unsteady Flow Data	146
Gambar 5.18	Pasang Surut Sungai Mahakam (Muara Sungai Karang Mumus.....	152
Gambar 5.19	Tampilan Proses Running Simulasi Pada HEC-RAS ...	152
Gambar 5.20	Profil Muka Air untuk Debit Periode Ulang 2th.....	153
Gambar 5.21	Profil Muka Air untuk Debit Periode Ulang 5th.....	153
Gambar 5.22	Profil Muka Air untuk Debit Periode Ulang 10th.....	154
Gambar 5.23	Profil Muka Air untuk Debit Periode Ulang 20th.....	154
Gambar 5.24	Profil Muka Air untuk Debit Periode Ulang 50th.....	154
Gambar 5.25	Ilustrasi Asumsi Pemodelan Geometri Sungai pada HEC-RAS	155

Gambar 5.26	Lengkung Kapasitas Waduk Benangan 2001	157
Gambar 5.27	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario I (Q2th) ..	159
Gambar 5.28	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario I (Q5th) ..	159
Gambar 5.29	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario I (Q10th)	159
Gambar 5.30	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario I (Q20th)	160
Gambar 5.31	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario I (Q50th)	160
Gambar 5.32	Nilai Reduksi Debit Banjir Skenario I Terhadap Debit Banjir Eksisting	161
Gambar 5.33	Lokasi Bendali pada Skenario II	162
Gambar 5.34	Skema Pemodelan Hidrologi Skenario II	163
Gambar 5.35	Lengkung Kapasitas Bendali 1	164
Gambar 5.36	Lengkung Kapasitas Bendali 2	164
Gambar 5.37	Lengkung Kapasitas Bendali 3	165
Gambar 5.38	Lengkung Kapasitas Bendali 4	165
Gambar 5.39	Lengkung Kapasitas Bendali 5	166
Gambar 5.40	Lengkung Kapasitas Bendali 6	166
Gambar 5.41	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario II (Q2th) .	167
Gambar 5.42	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario II (Q5th) .	167
Gambar 5.43	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario II (Q10th)	168
Gambar 5.44	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario II (Q20th)	168
Gambar 5.45	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario II (Q50th)	168
Gambar 5.46	Nilai Reduksi Debit Banjir Skenario II Terhadap Debit Banjir Eksisting	169
Gambar 5.47	Lokasi Potensi Pengembangan Bendali	170
Gambar 5.48	Skema Pemodelan Hidrologi Skenario III	171
Gambar 5.49	Lengkung Kapasitas Bendali Potensi 1	172
Gambar 5.50	Lengkung Kapasitas Bendali Potensi 2	172
Gambar 5.51	Lengkung Kapasitas Bendali Potensi 3	173
Gambar 5.52	Lengkung Kapasitas Bendali Potensi 4	173

Gambar 5.53	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario III (Q2th).....	175
Gambar 5.54	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario III (Q5th).....	175
Gambar 5.55	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario III (Q10th).....	176
Gambar 5.56	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario III (Q20th).....	176
Gambar 5.57	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario III (Q50th).....	177
Gambar 5.58	Nilai Reduksi Debit Banjir Skenario III Terhadap DebitBanjir Eksisting.....	177
Gambar 5.59	Perbandingan Nilai Persentase Reduksi Debit Banjir Tiap Skenario.....	178
Gambar 5.60	Perbandingan Nilai Persentase Reduksi Debit Banjir Tiap Skenario (Lanjutan).....	179
Gambar 5.61	Profil Muka Air Sungai Pada Debit Q2th	183
Gambar 5.62	Profil Muka Air Sungai Pada Debit Q5th	184
Gambar 5.63	Profil Muka Air Sungai Pada Debit Q10th	184
Gambar 5.64	Profil Muka Air Sungai Pada Debit Q20th	185
Gambar 5.65	Profil Muka Air Sungai Pada Debit Q50th	185
Gambar 5.66	Rekapitulasi Kontrol Muka Air Berbagai Debit Periode Ulang.....	186
Gambar 5.67	Plotting Elevasi Dasar Sungai Eksisting dan Rencana .	190
Gambar 5.68	Cross Section Eksisting dan Normalisasi.....	192
Gambar 5.69	Cross Section Eksisting dan Normalisasi (Lnjutan).....	193
Gambar 5.70	Cross Section Eksisting dan Normalisasi (Lanjutan)....	194
Gambar 5.71	Profil Muka Air Hasil Simulasi Penampang Normalisasi	194
Gambar 5.72	Profil Muka Air Hasil Simulasi Penampang Normalisasi (Lanjutan).....	195
Gambar 5.73	Penampang Sungai Setelah Penyesuaian	196

Gambar 5.74	Penampang Sungai Setelah Penyesuaian (Lanjutan)....	197
Gambar 5.75	Profil Muka Air Hasil Simulasi Penampang Normalisasi II	197
Gambar 5.76	Profil Muka Air Hasil Simulasi Penampang Normalisasi II (Lanjutan)	198
Gambar 5.77	Profil Muka Air Hasil Simulasi Penampang Normalisasi II (Lanjutan)	199
Gambar 5.78	Rekapitulasi Profil Muka Air Hasil Simulasi Penampang Normalisasi II	200
Gambar 6.1	Pola Reduksi Banjir Setelah Penerapan Skenario II.....	204
Gambar 6.2	Pola Reduksi Banjir Setelah Penerapan Skenario III ...	205
Gambar 6.3	Pola Reduksi Debit Banjir Pada Junction U	205
Gambar 6.4	Profil Muka Air Banjir Pada Simulasi Jam Ke-1 (Q20th)	206
Gambar 6.5	Profil Muka Air Banjir Pada Kondisi Debit Max (Q20th)	206
Gambar 6.6	Profil Muka Air Banjir Setelah Normalisasi(Q20th)....	208
Gambar 6.7	Profil Muka Air Banjir Setelah Penambahan Tinggi Tanggul (Q20th)	209

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

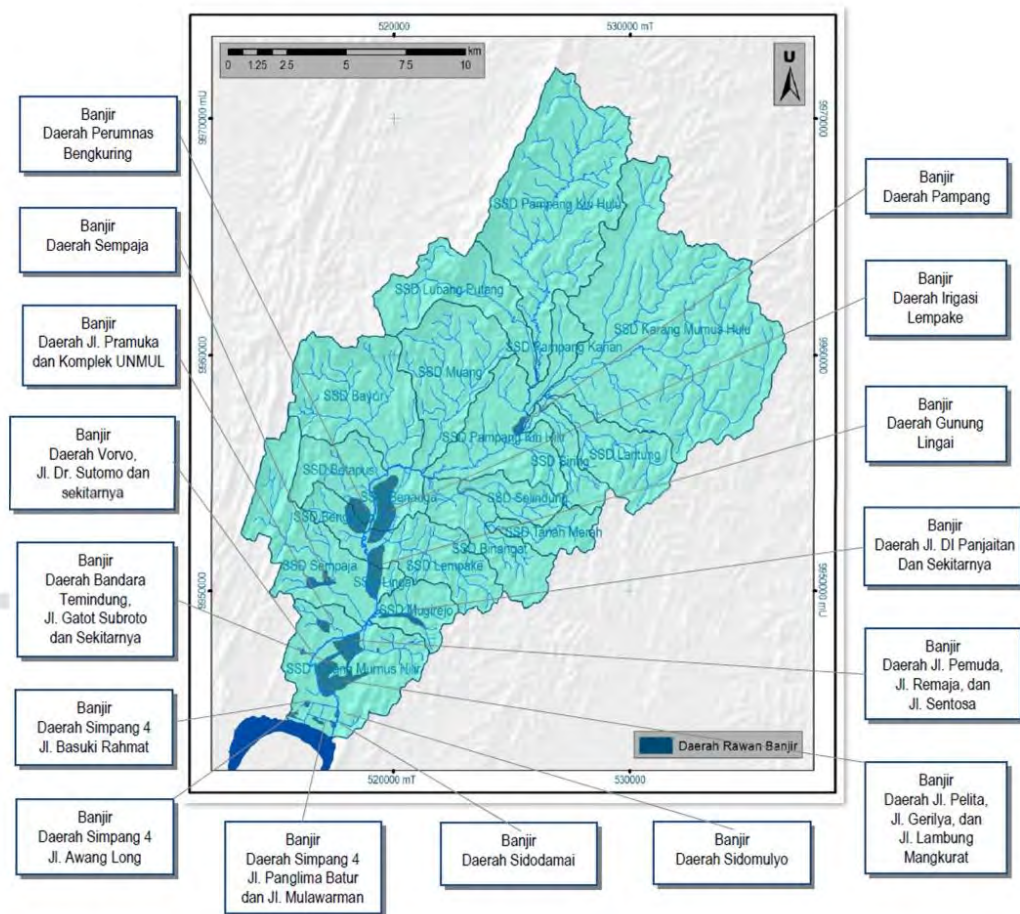
Banjir merupakan permasalahan umum yang sering terjadi di sebagian wilayah Indonesia, terutama di wilayah padat penduduk misalnya dikawasan perkotaan. Kerugian yang ditimbulkan bisa sangat besar, baik dari segi materi maupun kerugian jiwa (Kodoatie, 2013). Permasalahan banjir diakibatkan oleh banyak faktor, mulai dari kondisi tofografi daerah tangkapan air, kondisi tutupan lahan, durasi dan intensitas hujan serta kondisi jaringan drainase disuatu wilayah.

Faktor tata guna lahan merupakan penyebab utama banjir dibanding dengan faktor lainnya. Apabila seatu hutan yang berada pada suatu daerah aliran sungai (DAS) diubah menjadi pemukiman, maka debit sungai akan meningkat 6 sampai 20 kali (Kodoatie & Sjarief, 2010).

Kalimantan khususnya Kota Samarinda merupakan daerah dengan alih fungsi hutan yang terbilang tinggi di Indonesia. Pembukaan lahan untuk berbagai kepentingan khususnya dibagian hulu menyebabkan meningkatnya debit limpasan yang seharusnya dapat ditahan atau meresap kedalam tanah. Peningkatan debit limpasan ini tidak dibarengi dengan peningkatan kapasitas sungai yang seimbang dan bahkan cenderung berbanding terbalik. Hal ini diakibatkan karena adanya kegiatan manusia yang berada disekitar bantaran sungai, sehingga terjadi perubahan penampang sungai.

Samarinda sendiri merupakan ibukota Provinsi Kalimantan Timur (Kaltim), dengan luas wilayah $\pm 718 \text{ km}^2$ yang secara astronomis membentang antara $117^{\circ}03'00'' - 117^{\circ}18'14''$ BT dan $00^{\circ}19'02'' - 00^{\circ}42'34''$ LS. Samarinda sendiri masuk dalam Sub daerah aliran sungai (Sub-DAS) Karang Mumus yang mana SubDAS ini juga merupakan bagian dari DAS Mahakam, dengan panjang sungai utama yaitu Sungai Karang Mumus adalah sepanjang $\pm 17 \text{ km}$. Sub-DAS Karang Mumus sendiri memiliki luasan ± 36 ribu ha, sekitar 50,9 % dari luasan Samarinda. Luasaan lahan kritis pada Sub-DAS Karang Mumus mencapai $\pm 28,3$

Dari berbagai kondisi di wilayah SubDAS Karang Mumus, banjir adalah bencana alam yang paling sering terjadi pada SubDAS ini. Karena subDAS ini merupakan sebagian besar dari wilayah Samarinda, secara otomatis banjir yang terjadi akan berdampak pada kota Samarinda itu sendiri.



Gambar 1.1 Peta Area Potensi Genangan Banjir di SubDAS Karang Mumus

2

Post (2014), durasi banjir yang terjadi berkisar antara 3-10 jam dengan ketinggian air antara 0,3-1,5 m, sedangkan luas genangan terbesar terdapat di daerah Lempake, dengan luas genangan mencapai ± 200 ha.

Untuk mengantisipasi banjir yang terjadi, pemerintah Samarinda telah melakukan beberapa upaya untuk menanggulangi permasalahan banjir tersebut, salah satunya dengan menggunakan bangunan pengendali banjir yaitu Waduk Benanga (atau biasa disebut Bendungan Lempake).

Tabel 1.1 Rekapitulasi Daerah Rawan Banjir Samarinda

No.	Kelurahan>Nama Jalan	Tinggi Genangan	Luas Genangan	Durasi
		(m)	(Ha)	(Jam)
1	Sempaja Selatan	0.4 – 0.6	20	4
2	Sempaja Utara	0.5 – 1.5	50	8
3	Lempake	0.4 – 0.6	200	8
4	Gunung Lingai	0.4 – 0.6	50	8
5	Sungai Pinang Dalam	0.4 – 0.6	30	5
6	Sungai Siring	0.4 – 1.0	50	10
7	Lempake (Simpang 3)	0.3 – 0.6	3	3
8	Temindung Permai	0.3 – 0.6	5	6
9	Bandara Temnidung (Jl. Gatot Subroto)	0.3 – 0.8	5	6
10	Simpang Pinang Dalam	0.5 - 0.8	15	8
11	Simpang 4 Jl. Agus Salim	0.3 – 0.5	1	4
12	Sidomulyo	0.3 – 0.5	1	4
13	Sidodamai	0.3 – 0.5	1	4
14	Jl. Mulawarman	0.3 – 0.6	0.2	4
15	Simpang 4 Jl. Pang. 5 Batur	0.3 – 0.5	0.2	4
16	Jl. Awang Long	0.3 – 0.5	0.5	3
17	Rapak Dalam	0.4 – 0.7	40	6
18	Tani Aman	0.4 – 0.8	30	6
19	Sungai Kaledang	0.3 – 0.6	3	5
20	Loa Bakung	0.3 – 0.6	10	6
21	Karang Asam Ilir	0.3 – 0.5	0.5	5

No.	Kelurahan>Nama Jalan	Tinggi Genangan	Luas Genangan	Durasi
		(m)	(Ha)	(Jam)
22	Loa Bahu	0.3 – 0.6	10	5
23	Air Putih	0.3 – 0.6	15	5
24	Air Hitam	0.3 – 0.6	3	4
25	Voorvo-Jl. Dr. Soetomo	0.3 – 0.6	5	6
26	Gn. Kelua & Jl. Pramuka	0.3 – 0.6	10	5

Sumber : Pemerintah Kota Samarinda

Dengan dibangunnya waduk Benanga diharapkan mampu mereduksi debit limpasan yang mengalir menuju Sungai Karang Mumus, namun berdasarkan data tahun 2001 dan 2010 yang diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Kaltim, diketahui bahwa terdapat penurunan kapasitas tampungan dari waduk Benanga, hal ini disebabkan oleh adanya peningkatan sedimentasi.

Adanya penurunan kapasitas waduk, maka terdapat indikasi jika waduk tidak mampu mereduksi debit limpasan yang menuju sungai Karang Mumus. Oleh sebab itu perlu dikaji tentang seberapa besar pengaruh dari perubahan kapasitas waduk terhadap kemampuan sungai dalam mengalirkan debit limpasan yang terjadi, dalam hal ini adalah Sungai Karang Mumus. Selain adanya perubahan kapasitas waduk, tinjauan terhadap peningkatan elevasi muka air pada sungai Karang Mumus dapat diakibatkan karena adanya debit tambahan dari aliran lateral yang berasal dari anak-anak sungai Karang Mumus dan adanya pengaruh pasang-surut Sungai Mahakam.

Pada pembahasan permasalahan nantinya akan dicoba dengan beberapa model skenario seperti perubahan muka air banjir dan kontrol terhadap kemampuan waduk dalam menampung debit periode ulang tertentu (Q5, Q10, Q20 dan Q50), skenario selanjutnya adalah dengan melakukan rekayasa terhadap penampang sungai atau penambahan Bangunan Pengendali banjir (Bendali). Dari beberapa skenario tersebut akan dipilih skenario mana yang cocok digunakan sebagai solusi permasalahan banjir. Untuk menganalisa beberapa skenario diatas

maka diperlukan beberapa perangkat lunak (*software*) pendukung seperti HEC-HMS, HEC-RAS, ArcView.

Dari berbagai indikasi penyebab banjir pada Sungai Karang Mumus, maka perlu dilakukan analisa terhadap beberapa solusi yang direncanakan guna mengatasi permasalahan banjir, oleh sebab itu penulis melakukan penelitian yang berkaitan dengan penanggulangan banjir Sungai Karang mumus dengan judul ***“Analisa Penanggulangan Banjir Sungai Karang Mumus Samarinda”***.

1.2 Permasalahan

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka pada penelitian ini dapat diambil beberapa fokus permasalahan, diantaranya :

1. Bagaimana kemampuan sungai untuk mengalirkan debit banjir pada kondisi eksisting ?
2. Bagaimana profil muka air Sungai Karang Mumus akibat debit eksisting ?
3. Bagaimana kemampuan reduksi debit banjir setelah adanya penerapan model skenario penanggulangan banjir ?
4. Bagaimana profil muka air sungai Karang Mumus setelah adanya penerapan model skenario penanggulangan banjir ?
5. Bagaimana solusi penanggulangan banjir yang dapat diaplikasikan pada Sungai Karang Mumus ?

1.3 Tujuan Penelitian

Dari fokus permasalahan yang telah diperoleh, maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui kemampuan sungai Karang Mumus akibat debit banjir yang mengalir pada kondisi eksisting.
2. Mengetahui profil muka air Sungai Karang Mumus akibat debit kondisi eksisting yang mengalir.
3. Mengetahui kemampuan reduksi debit banjir setelah penerapan model skenario penanggulangan banjir.

4. Mengetahui profil muka air Sungai Karang Mumus setelah penerapan model skenario penanggulangan banjir.
5. Mengetahui solusi dan menyusun rekomendasi penanggulangan banjir yang dapat diaplikasikan pada Sungai Karang Mumus.

1.4 Batasan Permasalahan

Dalam proses analisa pada penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah agar pembahasan lebih fokus terhadap penyelesaian permasalahan, diantaranya :

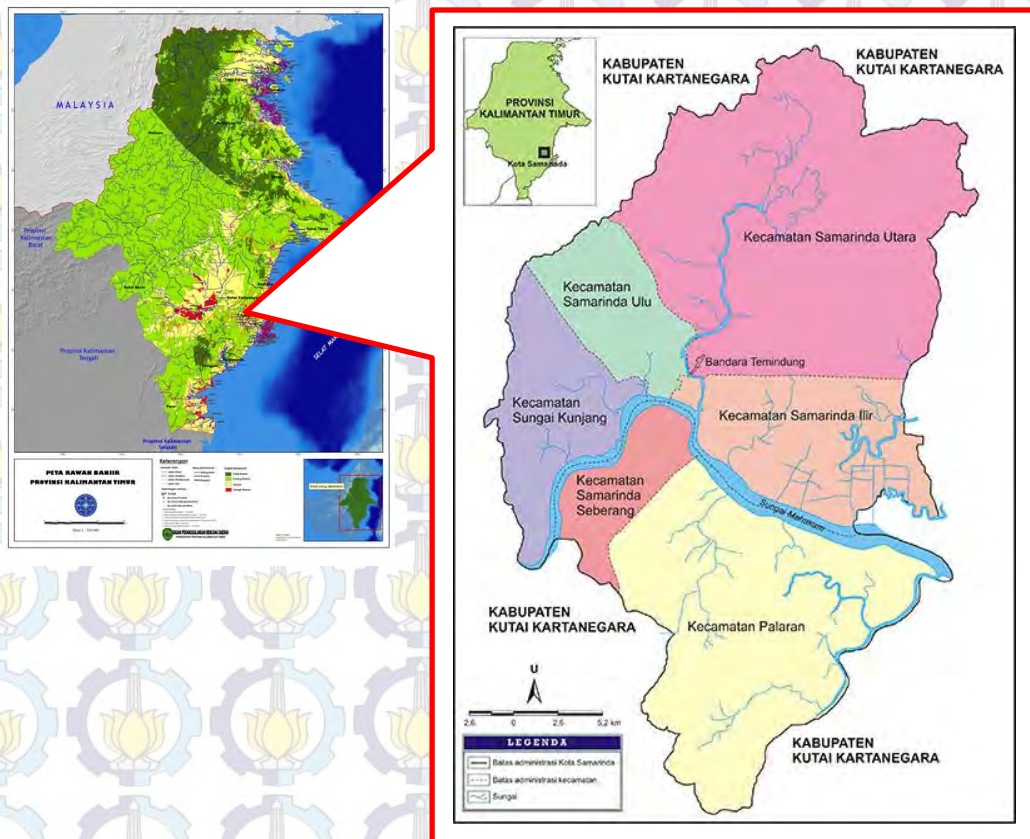
- Analisa muka air SKM hanya pada bagian ruas sungai Karang Mumus setelah outlet waduk Benanga sampai muara sungai.
- Tidak melakukan evaluasi terhadap drainase sekunder dan tersier kota samarinda.
- Lengkung kapasitas waduk yang digunakan adalah lengkung kapasitas waduk pada tahun 2001 dan 2010.
- Tidak menghitung analisa biaya konstruksi
- Tidak melakukan tinjauan terhadap adanya bangunan lateral pada penampang sungai.
- Analisa hidrolika menggunakan analisa aliran 1 Dimensi
- Tidak meninjau masalah sosial.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari hasil studi ini nantinya diharapkan dapat memberikan informasi terhadap penyebab terjadinya banjir di wilayah studi, serta dapat memberikan alternatif metode manajemen dan penanggulangan banjir pada pemerintah Kota Samarinda khususnya pada Sungai Karang Mumus (SKM) dan sebagai bahan masukan/pertimbangan dalam proses penyusunan *Master Plan* Drainase Samarinda.

1.6 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di Sub DAS Karang Mumus, kota Samarinda, provinsi Kalimantan Timur, tepatnya pada koordinat $0^{\circ}17'30'' - 0^{\circ}30'00''$ LS dan $117^{\circ}06'00'' - 117^{\circ}22'00''$ BT dengan luas DAS ± 31475 Ha.



Gambar 1.2 Lokasi Penelitian



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Banjir

Banjir adalah sebuah peristiwa yang terjadi ketika aliran air yang berlebihan merendam daratan (wikipedia.org). Banjir merupakan permasalahan umum yang sering terjadi disebagian wilayah Indonesia, terutama di wilayah padat penduduk, misalnya dikawasan perkotaan. Kerugian yang ditimbulkan bisa sangat besar, baik dari segi materi maupun kerugian jiwa (Kodoatie, 2013).

Banjir disebabkan oleh banyak faktor, diantaranya :

Faktor Alami

- Curah Hujan

Pada musim penghujan curah hujan yang tinggi akan mengakibatkan banjir di sungai dan bilamana melebihi tebing sungai, maka akan timbul banjir atau genangan.

- Pengaruh Fisiografi

Fisiografi atau geografi fisik seperti bentuk dan kemiringan daerah aliran sungai (DAS), kemiringan sungai, geometri hidrolis (bentuk penampang seperti lebar, kedalaman, potongan memanjang dan material dasar sungai).

- Erosi dan Sedimentasi

Erosi pada DAS berpengaruh terhadap kapasitas penampungan sungai, karena tanah yang tererosi pada DAS tersebut akan terbawa oleh air dan mengendap pada bagian sungai yang memiliki kecepatan aliran yang rendah. Hal ini menyebabkan terjadinya sedimentasi pada sungai.

- Kapasitas Sungai

Pengurangan kapasitas aliran banjir pada sungai disebabkan oleh pengendapan yang berasal dari erosi dasar sungai dan tebing sungai yang berlebihan.

- Pengaruh Pasang Surut

Air laut memperlambat aliran sungai ke laut. Pada waktu banjir bersamaan dengan air pasang tertinggi, maka tinggi genangan/bannir menjadi lebih tinggi akibat adanya aliran balik (*back water*).

Faktor Kegiatan Manusia

- Perubahan kondisi daerah aliran sungai (DAS)

Perubahan kondisi DAS seperti penggundulan hutan, usaha pertanian maupun perluasan kota dapat memperparah masalah banjir, dimana berkurangnya daerah resapan dan meningkatnya debit limpasan serta erosi yang terjadi membuat sedimen sungai ikut meningkat.

- Kawasan Kumuh

Perumahan kumuh yang berada dibantaran sungai merupakan bagian dari penghambat aliran sungai.

- Sampah

Pembungan sampah pada alur sungai dapat meninggikan muka air karena menghalangi aliran.

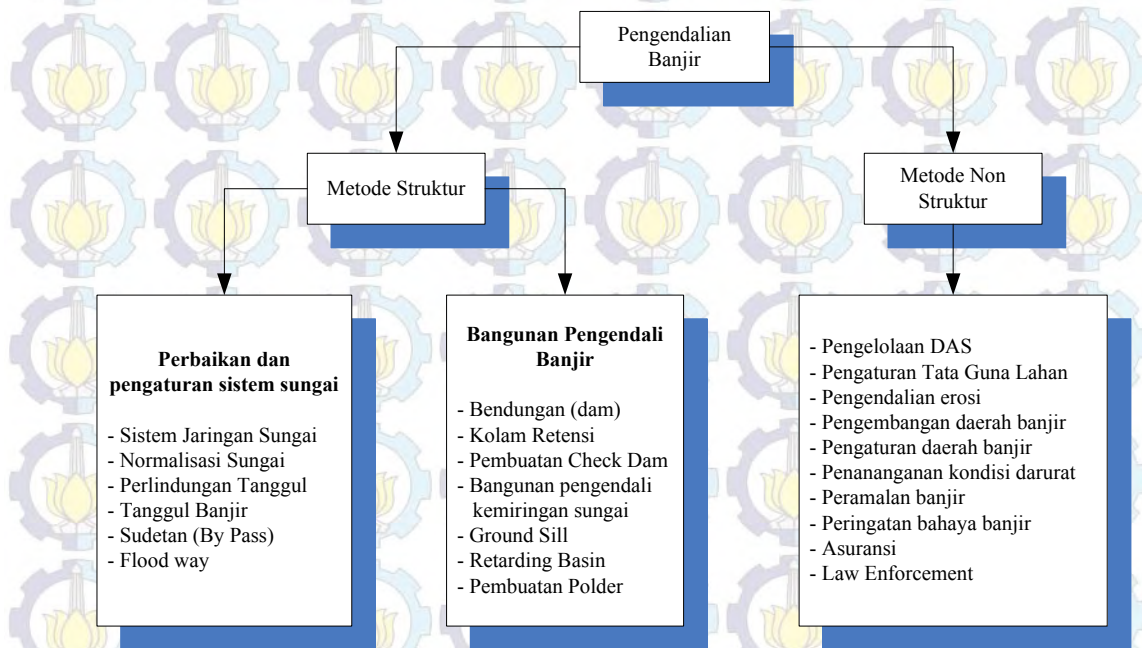
2.1.1 Pengendalian Banjir

Pengendalian banjir merupakan kegiatan perencanaan, pelaksanaan pekerjaan pengendalian banjir, eksploitasi dan pemeliharaan yang pada dasarnya dilakukan untuk mencegah terjadinya banjir.

Menurut Grigg (1996), ada 4 strategi dasar dalam pengelolaan daerah banjir, diantaranya :

- Modifikasi kerentanan dan kerugian banjir (penentuan zona atau pengaturan tata guna lahan)
- Modifikasi banjir yang terjadi (pengurangan) dengan bantuan pengontrol (waduk) atau normalisasi sungai.
- Modifikasi dampak banjir dengan penggunaan teknik mitigasi seperti asuransi dan penghindaran banjir (flood Proofing)
- Pengaturan peningkatan kapasitas alam untuk dijaga kelestariannya seperti penghijauan.

Alat untuk empat strategi dasar dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.1 Pengendalian banjir dengan metode non struktur dan struktur

2.2 Sungai

Sungai adalah aliran air yang besar dan memanjang, yang mengalir secara terus menerus dari hulu (sumber) menuju hilir (muara). Sungai merupakan salah satu bagian dari siklus hidrologi. Air dalam sungai umumnya terkumpul dari presipitasi, seperti hujan, embun, mata air, limpasan bawah tanah dan di beberapa negara tertentu air sungai juga berasal dari lelehan es/salju. Selain air, sungai juga mengalirkan sedimen dan polutan (*Wikipedia.org*, 2014).

Menurut Peraturan Pemerintah Indonesia (PP. No. 35 Tahun 1991), sungai didefinisikan sebagai berikut :

- Sungai adalah tempat-tempat dan wadah-wadah serta jaringan pengaliran air mulai dari mata air sampai muara dengan dibatasi kanan-kirinya serta pengalirannya oleh garis sempadan.
- Ditinjau dari penampang melintangnya, bagian utama dari sungai adalah paling sungai (*main river*). Perbandingan antara lebar dan kedalaman air pada palung sungai bisa besar sekali.

2.3 Analisa Hidrologi

Analisa hidrologi adalah proses analisa terhadap data hidrologi seperti data hujan, debit, suhu, temperatur, penyinaran matahari dsb, yang nantinya akan diperoleh besaran dari debit banjir rencana dan hidrograf banjir.

2.3.1 Curah Hujan

Curah hujan adalah jumlah air yang jatuh dipermukaan tanah datar selama periode tertentu yang diukur dengan satuan tinggi (mm). Data curah hujan yang terjadi disuatu wilayah adalah hujan yang terjadi disuatu titik saj (point rainfall). Sehingga, apabila akan melakukan perhitungan hujan rencana maka sebaiknya diperlukan lebih dari satu stasiun hujan.

Perhitungan curah hujan rencana sangat penting dalam analisa hidrologi. Terdapat banyak metode yang dapat digunakan pada perhitungan curah hujan rencana pada suatu DAS, diantaranya metode Aljabar, metode Poligon Thiessen dan Isoyet. Pemilihan metode perhitungan yang cocok pada suatu DAS tergantung pada beberapa faktor, Suripin (2004) membagi beberapa kriteria dalam penggunaan metode perhitungan curah hujan, yaitu :

Tabel 2.1 Kriteria Penentuan Metode Perhitungan Curah Hujan

No.	Jenis Kriteria	Metode yang dapat digunakan
1	<i>Jaring-jaring penakar hujan</i>	
a.	Jumlah pos penakar hujan cukup banyak	Aljabar, Thiessen atau Isohyet
b.	Jumlah Pos penakar hujan terbatas	Aljabar atau Thiessen
c.	Jumlah penakar hujan tunggal	Metode hujan titik
2	<i>Luas DAS</i>	
a.	$> 5000 \text{ km}^2$	Isohyet
b.	$500 - 5000 \text{ km}^2$	Thiessen

No.	Jenis Kriteria	Metode yang dapat digunakan
c.	< 500 km ²	Aljabar
3	<i>Tofografi DAS</i>	
a.	Pegunungan	Aljabar
b.	Daratan	Thiessen
c.	Berbukit tidak beraturan	Isohyet

Berikut penjelasan dari beberapa metode perhitungan hujan :

Metode Aljabar

Metode ini adalah metode paling sederhana, yaitu dengan melakukan perataan pada presipitasi/hujan yang diperoleh dari seluruh alat/stasiun penakar hujan yang digunakan. Cara ini dianggap cukup memadai sepanjang digunakan pada daerah yang cukup landai dengan variasi hujan yang cukup besar serta penyebaran alat/stasiun hujan seragam.

Perumusan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$R = \frac{1}{n} (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n) \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana :

R = Curah hujan rata-rata

n = Jumlah Sta. hujan

R₁+R₂+R₃+R_n = Curah hujan rerata tahunan disetiap titik pengamatan (Sta. Hujan)

Metode Poligon Thiessen

Metode ini memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun hujan yang mewakili luasan disekitarnya. Pada suatu luasan didalam DAS dianggap bahwa hujan adalah sama dengan yang terjadi pada stasiun terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu stasiun hujan mewakili wilayah tersebut.

Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan disuatu wilayah tidak merata, pada metode ini stasiun hujan yang digunakan minimal 3 (tiga) buah stasiun hujan. Perhitungan curah hujan rata-rata dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh dari setiap stasiun hujan.

Menurut Triatmodjo (2008), metode poligon Thiessen banyak digunakan untuk menghitung hujan rata-rata kawasan. Poligon thiessen adalah tetap untuk suatu jaringan stasiun hujan tertentu. Apabila terdapat perubahan jaringan stasiun hujan seperti pemindahan atau penambahan, maka harus dibuat kembali poligon yang baru.

Metode perhitungan Thiessen poligon dilakukan dengan cara membuat poligon yang memotong tegak lurus pada tengah-tengah garis penghubung antara 2(dua) stasiun. Dengan demikian stasiun penakar Rn akan terletak pada suatu poligon tertentu An.

Dengan menghitung perbandingan luas untuk setiap stasiun yang besarnya = A_n/A , dimana A adalah luas daerah penampungan atau jumlah luas seluruh areal yang ditinjau. Curah hujan rata-rata diperoleh dengan menjumlahkan masing-masing stasiun hujan yang mempunyai daerah pengaruh. Perhitungan mengikuti cara dibawah ini :

$$d = \frac{A_1 \cdot d_1 + A_2 \cdot d_2 + A_3 \cdot d_3 + \dots + A_n \cdot d_n}{A} = \sum \frac{A_i \cdot d_i}{A} \quad (2.2)$$

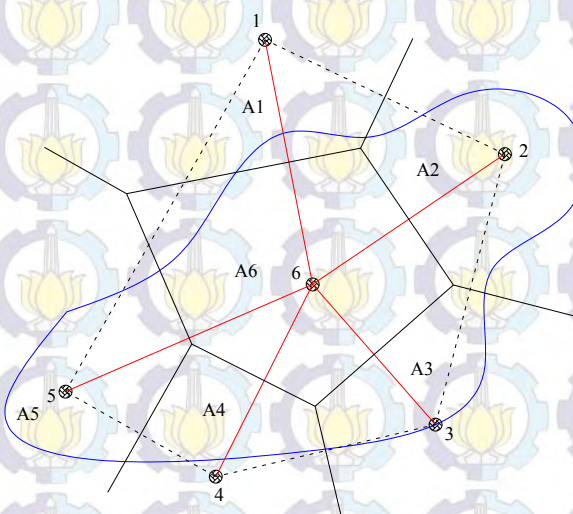
dimana :

A = Luas Areal (km^2)

d = Tinggi curah hujan rata-rata areal

$d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ = Tinggi curah hujan di stasiun yang ditinjau

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ = Luas daerah pengaruh stasiun hujan



Gambar 2.2 DAS dengan perhitungan curah hujan poligon Thiessen

Metode Isohyet

Isohyet adalah garis yang menghubungkan titik-titik dengan kedalaman hujan yang sama. Pada metode Isohyet, dianggap bahwa hujan pada suatu daerah diantara dua garis Isohyet adalah merata dan sama dengan nilai rata-rata dari kedua garis Isohyet tersebut.

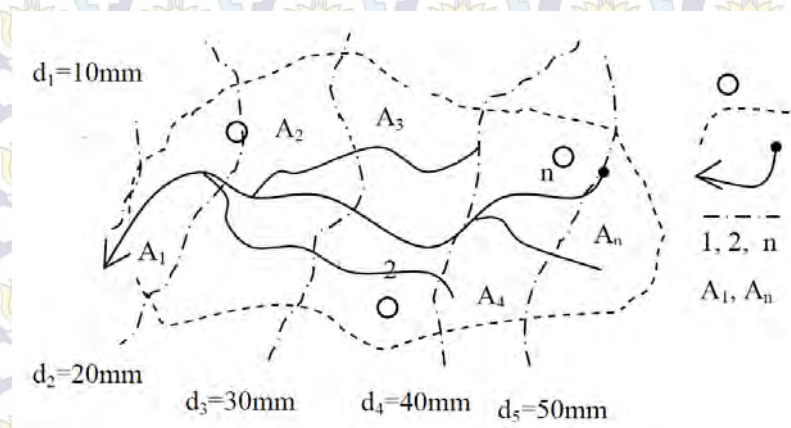
Metode Isohyet merupakan cara paling teliti untuk menghitung kedalaman hujan rata-rata disuatu daerah. Pada metode ini stasiun hujan harus cukup banyak dan tersebar merata, metode Isohyet membuthkan pekerjaan dan perhatian lebih banyak dibanding dua metode lainnya, (Triatmodjo, 2008).

Berikut merupakan persamaan dalam perhitungan metode Isohyet :

$$d = \frac{\left(\frac{d_0 + d_1}{2} \cdot A_1\right) + \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \cdot A_2\right) + \dots + \left(\frac{d_{n-1} + d_n}{2} \cdot A_n\right)}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.3)$$

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_{i-1} + d_i}{2} \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2.4)$$

(Sumber : Soemarto, CD.1993)



Gambar 2.3 Metode Isohyet

dimana :

d = Curah hujan rata-rata (mm)

$A_1 \dots A_n$ = Luas daerah untuk ketinggian curah hujan Isohyet yang berdekatan (km²)

$d_1 \dots d_n$ = Curah hujan digaris Isohyet (mm)

A = Luas total ($A_1 + A_2 + \dots + A_n$)

2.3.2 Analisa Distribusi Frekwensi

Analisa frekwensi dilakukan untuk menentukan besaran hujan dengan periode ulang tertentu. Metode analisa distribusi yang biasa digunakan pada perhitungan adalah :

- Metode Normal
- Metode Log Normal 2 Parameter
- Metode Log Pearson III
- Metode Gumbel Tipe I

Dari beberapa metode diatas berikut merupakan penjelasan dari masing-masing metode :

a. Metode Distribusi Normal

Distribusi Normal merupakan fungsi komulatif normal atau yang dikenal dengan Distribusi Gauss. Distribusi normal memiliki kerapatan probabilitas yang dituangkan dalam persamaan berikut :

$$P(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \times e^{-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{X-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (2.5)$$

dimana :

$P(X)$ = Peluang terjadinya X

π = 3.14159

e = 2.71828 (bilangan natural)

X = Variabel acak kontinu

μ = Rata-rata nilai X

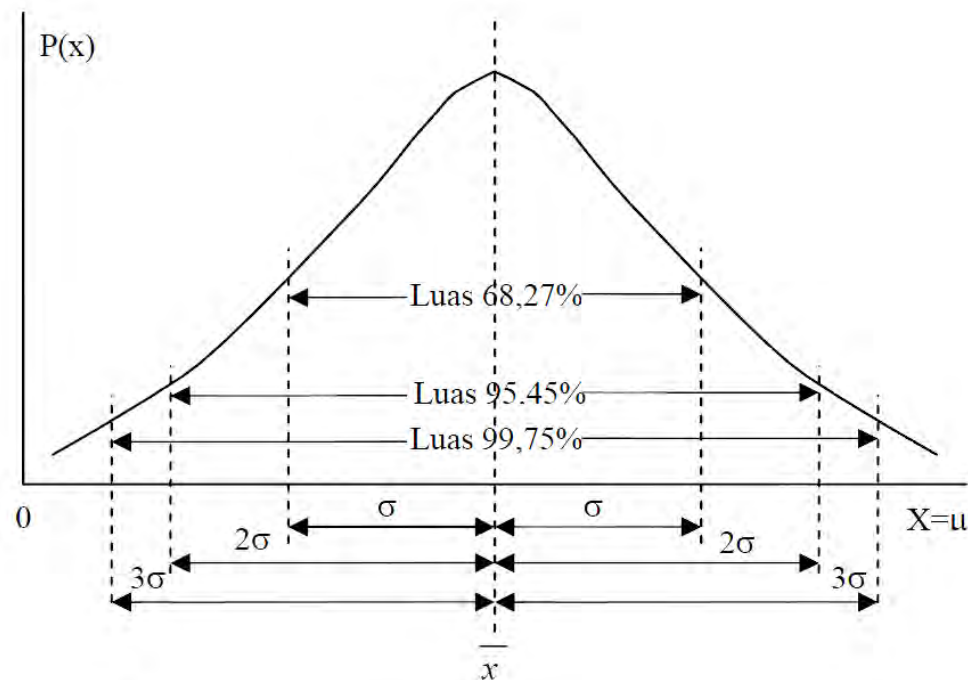
σ = Deviasi standar dari nilai X

(Sumber : Soewarno, 1995)

Apabila sebuah populasi dari data hidrologi mempunyai distribusi normal maka :

- Kira-kira 68,27% terletak didaerah satu deviasi standar sekitar nilai rata-ratanya, yaitu antara $(\mu - \sigma)$ dan $(\mu + \sigma)$.

- b. Kira-kira 95,45% terletak didaerah satu deviasi standar sekitar nilai rata-ratanya, yaitu antara $(\mu - 2\sigma)$ dan $(\mu + 2\sigma)$.
- c. Kira-kira 99,73% terletak didaerah satu deviasi standar sekitar nilai rata-ratanya, yaitu antara $(\mu - 3\sigma)$ dan $(\mu + 3\sigma)$.
- d. Sedangkan nilai 50%-nya terletak didaerah antara $(\mu - 0,6745\sigma)$ dan $(\mu + 0,6745\sigma)$.



Gambar 2.4 Kurva Distribusi Frekwensi Normal

Dalam pemakaian praktis, digunakan rumus umu sebagai berikut :

$$X_t = \bar{X} + k \times S \quad (2.6)$$

dimana :

X_t = Perkiraan nilai X yang diharapkan terjadi dengan periode ulang t tahun.

\bar{X} = Nilai rata-rata hitung variat X

S = Deviasi standar nilai variat X

k = Faktor frekwensi, merupakan fungsi dari periode ulang dan tipe model matematik distribusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang (Nilai reduksi Gauss, lihat **Tabel 2.2**).

Tabel 2.2 Nilai Reduksi Gauss

No.	Periode Ulang T (Tahun)	Peluang	k
1.	1,001	0,999	-3,05
2.	1,005	0,995	-2,58
3.	1,010	0,990	-2,33
4.	1,050	0,950	-1,64
5.	1,110	0,900	-1,28
6.	1,250	0,800	-0,84
7.	1,330	0,750	-0,67
8.	1,430	0,700	-0,52
9.	1,670	0,600	-0,25
10.	2,000	0,500	0
11.	2,500	0,400	0,25
12.	3,330	0,300	0,52
13.	4,000	0,250	0,67
14.	5,000	0,200	0,84
15.	10,000	0,100	1,28
16.	20,000	0,050	1,64
17.	50,000	0,020	2,05
18.	100,000	0,010	2,33
19.	200,000	0,005	2,58
20.	500,000	0,002	2,88
21.	1000,000	0,001	3,09

Sumber : (Bonnier, 1980)

b. Metode Log Normal

Distribusi Log Normal 2 Parameter mempunyai persamaan transformasi, sebagai berikut :

$$P(X) = \frac{1}{(X)(S)(\sqrt{2\pi})} \times \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{\log(X) - \overline{\log(X)}}{S} \right)^2 \right\} \quad (2.7)$$

dimana :

$P(X)$ = Peluang terjadinya distribusi log normal sebesar X

X = Nilai variat pengamatan

\bar{X} = Nilai rata-rata dari logaritmik variat X , umumnya dihitung nilai rata-rata geometriknya.

S = Deviasi standar dari logaritmik nilai variat X

(Sumber : Soewarno, 1995)

Aplikasi distribusi log normal 2 (dua) parameter untuk menghitung nilai variat X yang mempunyai periode ulang t tahun memiliki persamaan sebagai berikut :

$$\log(X_t) = \overline{\log(X)} + k \times S \log(X) \quad (2.8)$$

dimana :

$\log(X_t)$ = Nilai variat X yang diharapkan terjadi pada peluang atau periode ulang t tahun

$\overline{\log X}$ = Rata-rata nilai $\log(X)$

$S \log(X)$ = Deviasi standar logaritmik nilai $\log(X)$

k = Karakteristik dari distribusi log normal 2 (dua) parameter.

(Sumber : Soewarno, 1995)

Nilai k dapat diperoleh dari tabel yang merupakan fungsi dari periode ulang dan nilai koefisien variasinya (lihat **Tabel 2.3**).

2.3.3 Uji Kesesuaian Distribusi Frekwensi

Untuk menentukan kecocokan (*the goodness of fit*) distribusi frekwensi (empiris) dari sampel data terhadap fungsi distribusi peluang (frekwensi teoritis) yang diperkirakan yang dapat mewakili distribusi empiris tersebut, diperlukan pengujian secara statistik. Pemeriksaan uji kesesuaian bertujuan untuk mengetahui kebenaran dari suatu hipotesa, sehingga diketahui :

1. Kebenaran antara hasil pengamatan dengan model distribusi yang diharapkan atau didapat secara teoritis.

2. Kebenaran hipotesa (hasil model distribusi diterima atau ditolak)

Terdapat 2 (dua) metode pengujian yang lazim digunakan, yaitu Uji Chi Kuadrat, dan uji Smirnov-Kolmogorof. Berikut penjelasan dari kedua metode diatas :

a. Metode Uji Chi Kuadrat

Uji Chi Kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Pengambilan keputusan pada uji ini menggunakan parameter X^2 . Parameter X^2 dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$Xh^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana :

X_h^2 = Parameter Chi Kuadrat terhitung

G = Jumlah sub-kelompok

O_i = Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke-i

E_i = Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke-i

(Soewarno, 1995)

Prosedur uji chi :

1. Urutkan data pengamatan (dari besar kekecil atau sebaliknya)
2. Kelompokkan data menjadi G sub-grup, tiap-tiap sub grup minimal 4 data pengamatan.
3. Jumlahkan data pengamatan sebesar O_i tiap-tiap sub-grup
4. Jumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar E_i
5. Tiap-tiap sub-grup hitung nilai

Interpretasi hasilnya adalah :

1. Apabila peluang lebih besar dari 5%, maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
2. Apabila peluang lebih kecil dari 1%, maka persamaan distribusi yang digunakan tidak dapat diterima.
3. Apabila peluang berada diantara 1% sampai 5%, maka persamaan tidak dapat diterima/tidak memenuhi.

b. Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov sering juga disebut dengan uji kecocokan non parametrik, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Uji ini diperoleh dengan memplot data dan probabilitas dari data yang bersangkutan serta hasil perhitungan empiris dalam bentuk grafis. Dari kedua hasil *plotting* dapat diketahui penyimpangan terbesar. Penyimpangan tersebut kemudian dibandingkan dengan penyimpangan kritis yang diijinkan.

2.4 Koefisien Pengaliran (C)

Koefisien pengaliran (C) adalah perbandingan antara air yang mengalir dipermukaan tanah (*surface runoff*) dengan air hujan yang terjadi. Besarnya debit banjir rencana dipengaruhi oleh besarnya nilai koefisien pengaliran atau koefisien limpasan yang tergantung pada penggunaan lahan (*land use*), jenis tanah dan topografi daerah pengaliran.

Tabel 2.3 Nilai Koefisien pengaliran (C)

No.	Kondisi daerah pengaliran dan sungai	Harga C
1.	Daerah pegunungan yang curam	0,75 – 0,90
2.	Daerah pegunungan tersier	0,70 – 0,80
3.	Tanah bergelombang dan hutan	0,50 – 0,75
4.	Tanah dataran yang ditanami	0,45 – 0,60
5.	Persawahan yang diairi	0,70 – 0,80
6.	Sungai didaerah pegunungan	0,75 – 0,80

No.	Kondisi daerah pengaliran dan sungai	Harga C
7.	Sungai kecil didataran	0,45 – 0,75
8.	Sungai besar yang lebih besar dari setengah daerah pengalirannya terdiri dari daratan	0,50 – 0,75

Sumber : (Sosrodarsono, S, 1987)

2.5 Analisa Debit Banjir Rencana

Perhitungan kemampuan Sungai Karang Mumus untuk menerima debit banjir yang terjadi, beberapa metode yang digunakan untuk menghitung debit banjir, salah satunya adalah metode hidrograf satuan sintetis HEC-HMS (*SCS Curve Number*). Berikut penjelasan dari metode diatas :

Metode HEC-HMS (*SCS Curve Number*)

Metode *SCS (Soil Conservation Service) Curve Number* adalah metode perhitungan aliran limpasan yang dikembangkan oleh United State of Agriculture (USDA) dan metode ini mengestimasi limpasan hujan dari curah hujan (Hjelmfelt,1991).

Hidrograf tak berdimensi *SCS* adalah hidrograf satuan sistetis, dimana debit dinyatakan sebagai nisbah debit q terhadap debit puncak q_p dan waktu dalam t .

Metode *SCS* berusaha mengaitkan karakteristik DAS seperti tanah, vegetasi dan tata guna lahan dengan bilangan kurva air limpasan (*runoff curve number*) yang menunjukkan potensi air limpasan untuk curah hujan tertentu (Asdak,2004). Nilai *CN* merupakan fungsi dari penggunaan lahan dan tanah dari suatu DAS. Estimasi nilai *CN* ditentukan berdasarkan batas penggunaan lahan dan kategori tanah yang spesifik dalam batas DAS.

Estimasi Nilai *Curve Number*

Nilai bilangan kurva (*Curve Number*) pada metode *SCS-CN* ditentukan berdasarkan kombinasi dari penggunaan lahan, tanah dan kondisi kelembaban tanah sebelumnya (*AMC*) (Helley et al, 2005). Pendugaan nilai *CN* dapat diawali dengan menentukan jenis kelompok tanah.

SCS mengembangkan sistem klasifikasi tanah berdasarkan sifat-sifat tanah, peta tanah detail atau laju infiltrasi tanah (Arsyad, 1989).

Klasifikasi kelompok tanah pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4 Klasifikasi Jenis Tanah

No.	Kelas Tanah	Karakteristik Tanah	Laju Infiltrasi (cm/jam)
1	A	Pasir dalam, loess dalam, debu yang beragregat	0.78 – 1.14
2	B	Loess dangkal, lempung berpasir	0.38 – 0.78
3	C	Lempung berlian, lempung berpasir dangkal, tanah kadar bahan organik rendah dan tanah berkadar liat tinggi	0.13 – 0.38
4	D	Tanah-tanah yang mengembang secara nyata, jika basah liat berat, dan tanah-tanah saline tertentu	< 0.13

Sumber : SCS, 1972

Tabel 2.5 Klasifikasi Sifat Hidrologi Berdasarkan Tekstur Tanah

No.	Kelas Tekstur	Kapasitas Efektif Air (in/in)	Nilai Infiltrasi Minimum (in/hari)	SCS Kelompok Hidrologi Tanah
1	Pasir	0.35	0.27	A
2	Pasir Bergeluh	0.31	2.41	A
3	Geluh Berpasir	0.25	1.02	B
4	Geluh	0.19	0.52	B
5	Geluh Berdebu	0.17	0.27	C
	Geluh Lempung Berpasir	0.14	0.17	C
6	Geluh Berlempung	0.14	0.09	D
7	Geluh Lempung Berdebu	0.11	0.06	D
8	Lempung Berpasir	0.09	0.05	D

No.	Kelas Tekstur	Kapasitas Efektif Air (in/in)	Nilai Infiltrasi Minimum (in/hari)	SCS Kelompok Hidrologi Tanah
9	Lempung Berdebu	0.09	0.04	D
10	Lempung	0.08	0.03	D

Sumber : Arsyad, 1989

Catatan :

Kementrian Pekerjaan Umum Republik Indonesia mendefinisikan Tanah Geluh sebagai jenis tanah yang baik dalam keadaan kering tidak seperti berlemak, mempunyai daya susut muai yang tidak kecil dalam keadaan basah dan kering.

Geluh bersifat remah, lembab dan mudah mengikat air dan nutrisi sehingga ideal untuk digunakan dalam pertanian.

Berdasarkan kelompok tanah maka dapat ditentukan nilai Curve Number (CN) pada suatu DAS dengan menambahkan informasi penggunaan lahan yang ada. Klasifikasi kompleks penggunaan lahan SCS terdiri atas 3 (tiga) faktor, yaitu (Arsyad, 1989) :

- Penggunaan Lahan
- Perlakuan atau tindakan yang diberikan pada penggunaan lahan
- Kondisi hidrologi dari penggunaan lahan

Penentuan nilai CN dapat dilihat pada Tabel. dan untuk lebih lengkapnya terdapat pada *HEC-HMS Technical Manual*, 144.

Nilai CN juga dipengaruhi oleh kondisi AMC (Antecedent Moisture Categories) atau nilai kelembaban sebelumnya. Nilai AMC dipengaruhi nilai volume dan laju aliran permukaan. Terdapat 3 (tiga) klasifikasi nilai AMC, yang diberi tanda angka romawi I, II, dan III (Craciun et al, 2007). Nilai CN pada Tabel menunjukkan nilai CN pada kondisi AMC II. Klasifikasi kelompok AMC didasarkan pada (Arsyad, 1989) :

- a. Kondisi I : Tanah dalam keadaan kering tetapi tidak sampai titik layu; pernah ditanami dengan hasil yang memuaskan
- b. Kondisi II : Keadaan rata-rata

c. Kondisi III : Hujan lebat atau hujan ringan dan temperatur rendah telah terjadi dalam lima hari terakhir; tanah jenuh

Nilai AMC juga dapat didekati dengan nilai curah hujan pada 5 hari sebelumnya (**Tabel 2.6**).

Tabel 2.6 Klasifikasi Nilai CN Pada Kondisi AMC II

No.	Penggunaan Lahan		Kelompok Hidrologi Tanah			
			A	B	C	D
1.	Pemukiman					
	Luas Kapling (m ²)	Persentase Rata-rata Kedap Air				
	a. ≤500	65	77	85	90	92
	b. 1000	38	61	75	83	87
	c. 1300	30	57	72	81	86
	d. 2000	25	54	70	80	85
	e. 4000	20	51	68	79	84
2.	Tempat parkir diaspal, atap dan jalan raya		98	98	98	98
3.	Jalan Umum					
	a. Beraspal		98	98	98	98
	b. Kerikil		76	85	89	91
	c. Tanah		72	82	87	89
4.	Kebun Campuran		45	66	77	83
5.	Daerah Industri (72% kedap air)		81	88	91	93
6.	Tempat Terbuka, padang rumput yang dipelihara					
	a. Kondisi baik, 75% tertutup rumput		39	61	74	80
	b. Kondisi sedang 50-75% tertutup rumput		49	69	79	84
7.	Menurut Lereng		77	86	91	94
8.	Tanaman semusim dalam baris					
	a. Menurut lereng	Buruk	72	81	88	91
	b. Menurut lereng	Baik	67	78	85	89
	c. Menurut Kontur	Buruk	70	79	84	88
	d. Menurut Kontur	Baik	65	75	82	86
	e. kontur dan teras	Buruk	66	74	80	82
	f. Kontur dan teras	Baik	62	71	78	81

No.	Penggunaan Lahan		Kelompok Hidrologi Tanah			
			A	B	C	D
9.	Padi-padian					
	a. Menurut lereng	Buruk	65	76	84	88
	b. Menurut lereng	Baik	63	75	83	87
	c. Menurut Kontur	Buruk	63	74	82	85
	d. Menurut Kontur	Baik	61	73	81	84
	e. kontur dan teras	Buruk	61	72	79	82
	f. Kontur dan teras	Baik	59	70	78	81
10.	Leguminase ditanam rapat atau pergiliran tanaman padang rumput					
	a. Menurut lereng	Buruk	66	77	85	89
	b. Menurut lereng	Baik	58	72	81	85
	c. Menurut Kontur	Buruk	64	75	83	85
	d. Menurut Kontur	Baik	55	69	78	83
	e. kontur dan teras	Buruk	63	73	80	83
	f. Kontur dan teras	Baik	51	67	76	80
11.	Padang Rumput penggembalaan					
	a. Buruk		68	79	86	89
	b. Sedang		49	69	79	84
	c. Baik		39	61	74	80
	d. Menurut Kontur	Buruk	47	67	81	88
	e. Menurut Kontur	Sedang	25	59	75	83
	f. Menurut Kontur	Baik	6	35	70	79
	Padang rumput potong baik		30	58	71	78
12.	Hutan					
	a. Buruk		45	66	77	45
	b. Sedang		36	60	73	36
	c. Baik		25	55	70	25
13.	Perumahan Petani		59	74	82	86

Sumber : Arsyad, 1989

Tabel 2.7 Kondisi Kelembaban Tanah 5 Hari Sebelumnya

No.	Kelompok AMC Tanah	Jumlah Curah Hujan yang turun 5 hari sebelumnya (mm)
1.	AMC I (Kering)	< 35
2.	AMC II (Sedang)	35 – 53
3.	AMC III (Basah)	> 53

Sumber : Arsyad, 1988

Pada metode SCS Curve Number terdapat beberapa parameter, diantaranya :

SCS Curve Number Loss Model (Permodelan Kehilangan)

SCS mengestimasi kelebihan hujan sebagai fungsi gabungan dari hujan, tutupan lahan, penggunaan lahan, kelembaban sebelumnya, menggunakan persamaan :

$$e = \frac{(P - I_a)^2}{P + I_a}$$

$$I_a = 0.2 S$$

$$\frac{1000 - 10}{S}$$

da lam kaki (feet)

$$S = \frac{25400 - 254 CN}{CN} \rightarrow \text{dalam satuan SI}$$

$$CN_{\text{Composite}} = \frac{\sum A_i CN_i}{\sum A_i}$$

Sumber : HEC-HMS Technical Reference Manual, Hal 37

dimana :

P_e = Kelebihan hujan pada waktu t

P = Jumlah tinggi curah hujan pada waktu t

I_a = Initial Abstraction (Kehilangan Awal)

S = Potensi retensi maksimum

CN = Curve Number

SCS Unit Hydrograph Model (HSS SCS)

Penelitian oleh SCS mereferensikan unit hidrograf dan waktu puncak hidrograf dengan persamaan (*HEC-HMS Technical Reference Manual*, Hal : 55):

$$U_p = C \frac{A}{T_p}$$

$$T_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{lag}$$

$$t_{lag} = 0.6t_c$$

$$t_c = t_{sheet} + t_{shallow} + t_{channel}$$

$$t_{sheet} = \frac{0.007 (NL)^{0.8}}{(P_2)^{0.5} S^{0.4}}$$

untuk perhitungan $t_{channel}$ menggunakan persamaan yang digunakan pada daerah Bayern, Jerman (*Aplikasi Hidrologi, Hadisusanto, Nugroho (2010) Hal : 157*)

$$t_{channel} = \frac{L}{W}$$

$$W = 72 \left(\frac{\Delta H}{L} \right)^{0.60} \rightarrow \text{dalam satuan } \frac{\text{km}}{\text{jam}}$$

$$W = 72 \left(\frac{\Delta H}{L} \right)^{0.60} \rightarrow \text{dalam satuan } \frac{\text{m}}{\text{dt}}$$

dimana :

U_p = Puncak Unit Hidrograf

C = Angka Konversi (2.08 dalam SI dan 484 dalam feet)

A = Luas Catchment Area

T_p = Waktu Puncak

Δt = Durasi kelebihan hujan

t_{lag} = Waktu Jeda

t_c = Waktu konsentrasi

t_{sheet} = Waktu pengaliran pada lahan

$t_{shallow}$ = Waktu pengaliran pada segmen aliran dangkal

t_{channel}	= Waktu pengaliran pada segmen sungai/saluran
S	= Garis Kemiringan Hidrolis (Kemiringan sungai, <i>slope</i>)
P_2	= Curah hujan periode ulang 2th (inci)
N	= Koefisien Kekasaran permukaan Aliran (lihat lampiran)
W	= Kecepatan waktu tiba banjir
ΔH	= Beda tinggi antara titik terjauh sungai dengan outlet (m)
L	= Panjang sungai yaitu panjang horisontal dari titik teratas sampai titik outlet (km, m)

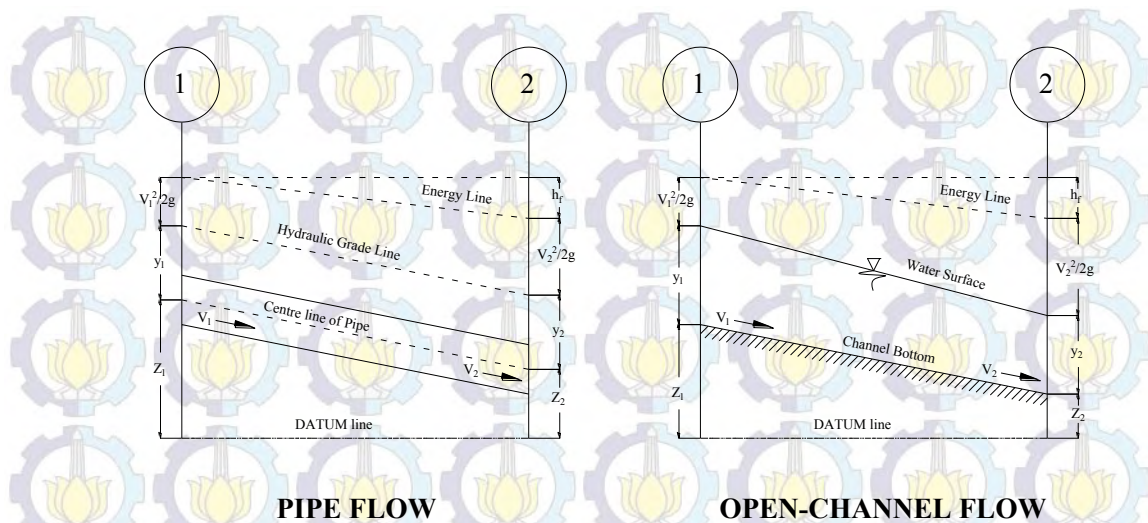
2.6 Analisa Hidrolika

Analisa hidrolika diperlukan untuk mengetahui kemampuan penampang sungai/saluran untuk menampung debit rencana. Sebagaimana telah dijelaskan pada subbab sebelumnya, bahwa salah satu penyebab banjir adalah ketidakmampuan penampang sungai/saluran dalam menampung debit banjir rencana yang terjadi.

2.6.1 Aliran Saluran Terbuka

Aliran air dalam suatu saluran dapat berupa aliran saluran terbuka (*open channel flow*) maupun aliran dalam pipa (*pipe flow*). Kedua jenis aliran tersebut sama dalam banyak hal, namun terdapat perbedaan dalam satu hal penting (Chow V.T., 1989).

Aliran pada saluran terbuka memiliki permukaan bebas (*free surface*), sedangkan aliran yang berada didalam pipa adalah sebaliknya, karena air harus mengisi seluruh permukaan pipa. Permukaan bebas dipengaruhi oleh tekanan udara, sedangkan aliran pipa tidak terpengaruh langsung oleh udara, kecuali oleh tekanan hidrolik.



Gambar 2.5 Perbandingan antara aliran pipa dengan aliran saluran terbuka

Tekanan yang ditimbulkan oleh air pada setiap penampang pipa ditunjukkan dalam tabung yang bersesuaian dengan kolom air setinggi y diatas garis tengah pipa. Jumlah energi dalam aliran dipenampang berdasarkan suatu garis persamaan adalah jumlah tinggi tempat z diukur dari garis tengah pipa, tinggi tekanan y dan tinggi kecepatan $\frac{V^2}{2g}$, dengan V adalah kecepatan rata-rata aliran.

Energi ini dinyatakan dalam gambar dengan suatu garis derajat energi (*energy grade line*) atau disingkat dengan garis energi (*energy line*). Energi yang hilang ketika air mengalir dari penampang 1 ke penampang 2 dinyatakan dengan h_f . Bagan serupa untuk aliran terbuka diperlihatkan dalam Gambar 2.7 sebelah kanan. Penyederhanaan dianggap bahwa aliran sejajar, kecepatannya seragam dan kemiringan salurannya kecil. Dalam hal ini permukaan air merupakan garis derajat hidrolis dan dalamnya air sama dengan tinggi tekanan.

Menurut hukum kekekalan energi, jumlah energi pada penampang 1 dan penampang 2 dihilir akan sama dengan jumlah tinggi h_f diantara kedua penampang, atau

$$z_1 + d_1 \cos \theta + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + d_2 \cos \theta + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_f \dots\dots\dots (2.20)$$

Persamaan ini berlaku untuk aliran sejajar atau berubah beraturan. Untuk suatu saluran yang kemiringannya kecil, persamaan diatas berubah menjadi :

$$z_1 + y_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + h_f \dots\dots\dots (2.21)$$

Kedua persamaan tersebut, dikenal dengan persamaan energi (energy Equation), jika $\alpha_1 = 1$ dan $h_f = 0$, persamaan (2.21) menjadi :

$$z_1 + y_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + h_f \dots\dots\dots (2.22)$$

Persamaan (2.22) adalah persamaan energi dari *Bernouli* yang sangat terkenal.

2.6.1.1 Tipe Aliran

Aliran pada saluran terbuka dapat dibagi menjadi banyak tipe. Penggolongan tipe aliran yang terjadi dalam saluran terbuka dapat didasarkan pada beberapa kriteria. Beberapa kriteria tersebut adalah :

- Kedalaman aliran (h)
- Terhadap waktu (t)
- Terhadap tempat (s)

Menurut Anggrahini (1997), aliran dapat dibedakan menjadi :

Menurut waktu sebagai kriteria

1. Aliran Tetap (*Steady Flow*)

Yaitu aliran dimana kedalaman air (h) tidak berubah menurut waktu atau dapat dianggap tetap dalam interval waktu, dengan demikian kecepatan aliran juga tidak berubah menurut waktu, $\frac{\partial h}{\partial t} = 0$ dan

$$\frac{\partial u}{\partial t} = 0.$$

2. Aliran Tidak Tetap (*Unsteady Flow*)

Yaitu aliran yang kedalamannya (h) berubah menurut waktu $\frac{\partial h}{\partial t} \neq 0$, demikian pula pada kecepatannya yang berubah menurut waktu

$$\frac{\partial u}{\partial t} \neq 0.$$

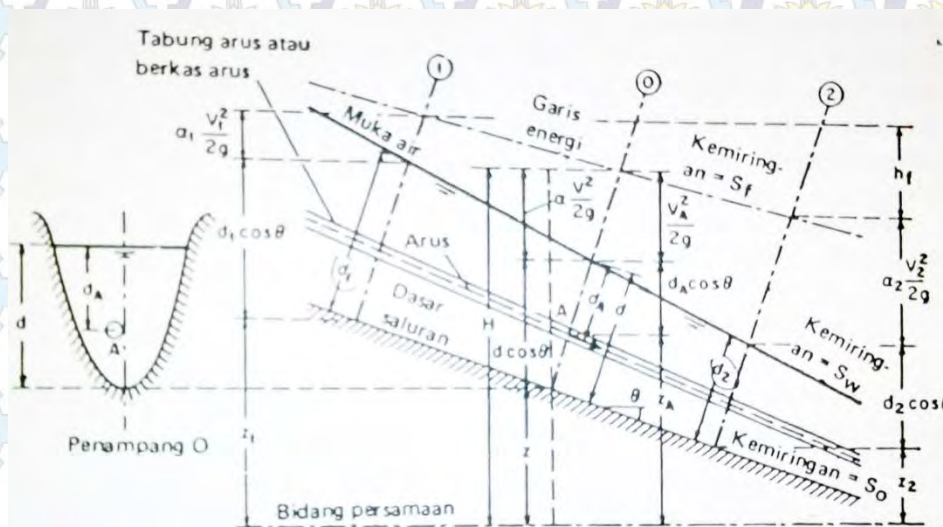
Dalam banyak hal, perhitungan saluran terbuka banyak dilakukan dengan mengasumsikan aliran sebagai aliran tetap, karena perhitungan aliran tetap lebih sederhana.

Menurut tempat sebagai kriteria

1. Aliran Seragam (*Uniform Flow*)

Aliran dikatakan seragam apabila kedalaman aliran (h) tidak berubah menurut tempat $\frac{\partial h}{\partial s} = 0$, dan kecepatannya juga tidak berubah terhadap tempat $\frac{\partial u}{\partial s} = 0$. Aliran seragam dapat pula tidak berubah menurut waktu dan berubah menurut waktu. Untuk aliran seragam yang tidak berubah menurut waktu (*steady uniform flow*) atau biasa disebut aliran beraturan dimana $\frac{\partial u}{\partial t} = 0$ dan $\frac{\partial u}{\partial s} = 0$.

Sedangkan untuk aliran seragam yang berubah menurut waktu bila fluktuasi muka air terjadi dari waktu ke waktu namun tetap paralel dengan dasar saluran. Aliran jenis ini disebut aliran seragam tidak tetap (*unsteady uniform flow*) dimana $\frac{\partial h}{\partial t} \neq 0$ tetapi $\frac{\partial u}{\partial s} = 0$. Dalam kondisi nyata, jenis aliran ini hampir tidak pernah terjadi, oleh karena itu aliran seragam hanya dipakai pada aliran tetap (*steady uniform flow*).

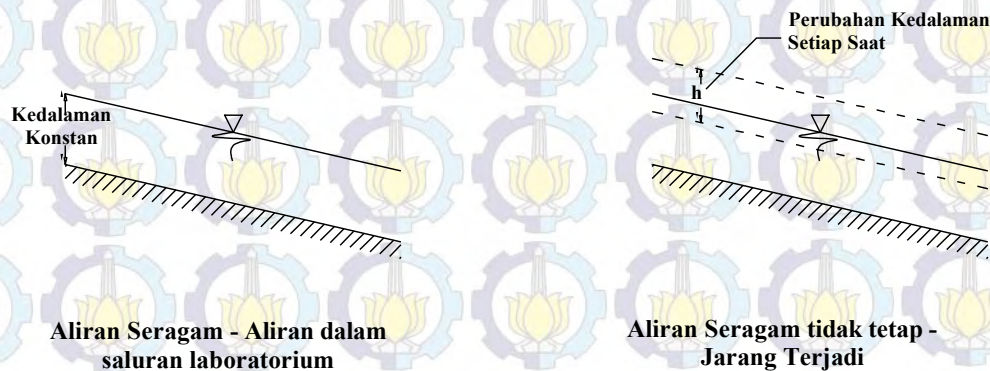


Gambar 2.6 Energi dalam aliran saluran terbuka berubah beraturan

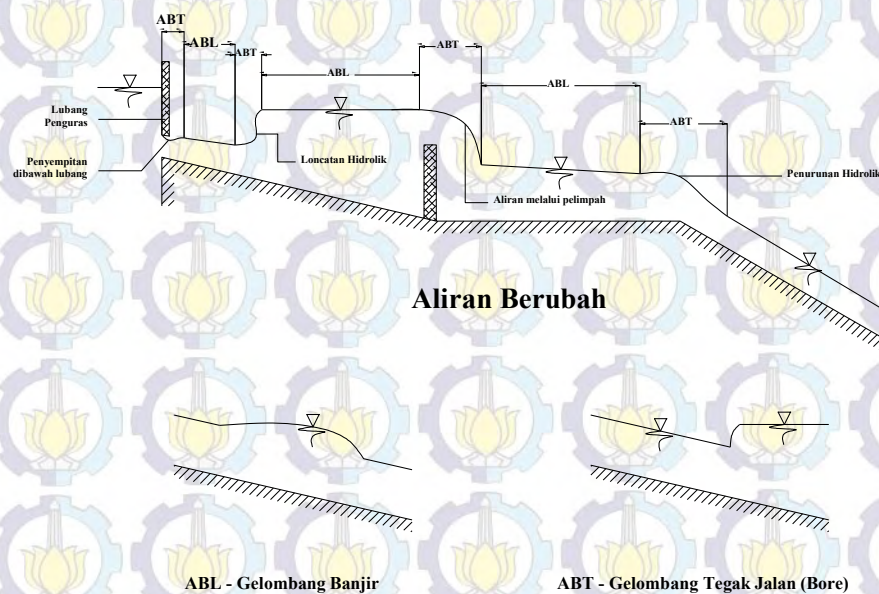
2. Aliran Tidak Seragam (*Non Uniform Flow*)

Yaitu aliran yang kedalaman alirannya (h) berubah-ubah menurut tempat disepanjang aliran $\frac{\partial h}{\partial s} \neq 0$, demikian pula dengan kecepatannya $\frac{\partial u}{\partial s} \neq 0$.

Aliran tidak seragam juga disebut aliran berubah-ubah (*varied flow*) yang dibedakan lagi menjadi aliran berubah lambat laun (*gradually varied flow*) dan aliran berubah dengan cepat (*rapidly varied flow*). Aliran berubah dengan cepat dikenal pula sebagai fenomena lokal, contohnya adalah loncatan air dan air terjun.



Gambar 2.7 Contoh berbagai tipe aliran (Anggrahini, 1997)



Gambar 2.8 Contoh berbagai tipe aliran (Anggrahini, 1997) - Lanjutan

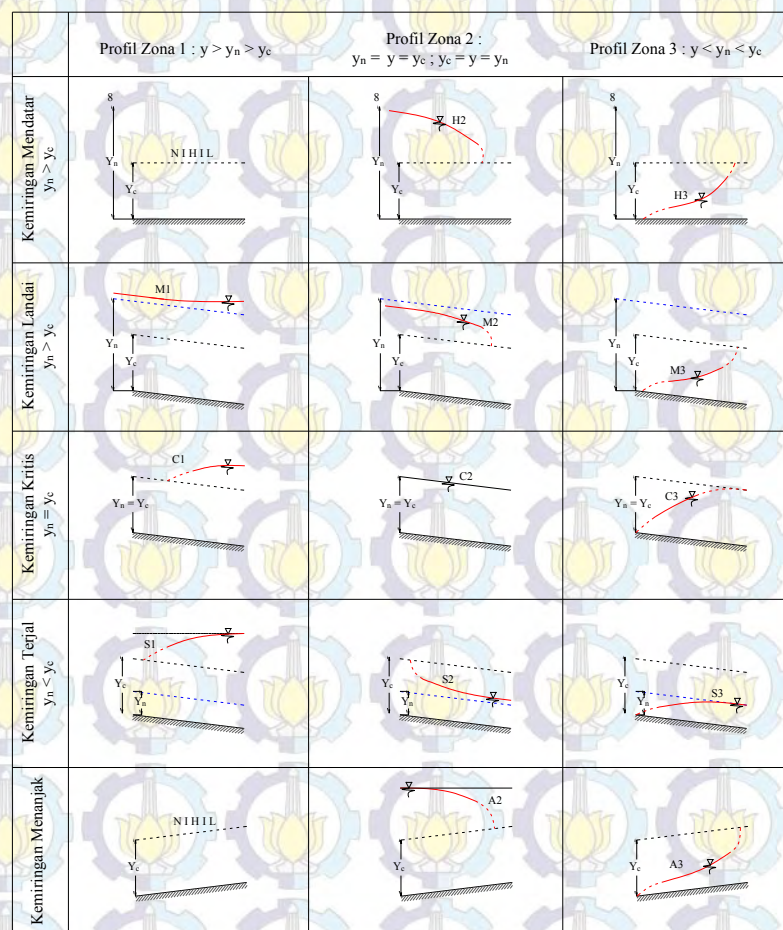
2.6.1.2 Aliran Berubah Lambat-laun

Perkembangan teori aliran berubah lambat-laun dimulai pada abad kedelapan belas. Banyak ahli hidrolika menyumbangkan andil dalam

perkembangan tersebut. Terdapat sebuah dasar yang menjadi landasan hal tersebut, yaitu :

“Kehilangan tinggi tekanan pada suatu penampang sama seperti pada aliran dengan kecepatan dan jari-jari hidrolis penampang yang sama”

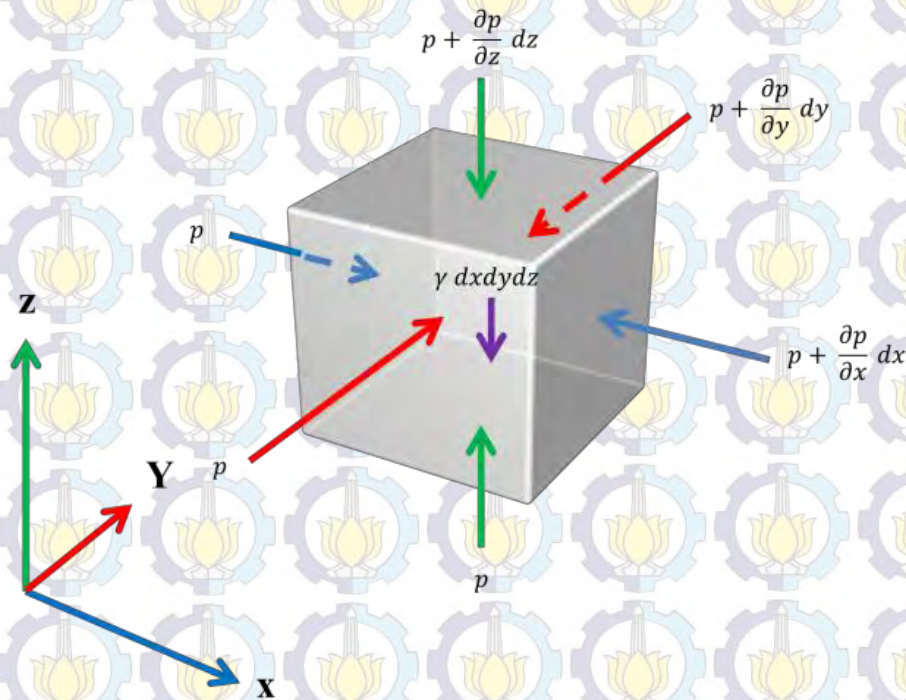
Menurut diatas, rumus aliran seragam dapat dipakai untuk menilai kemiringanenergi aliran berubah lambat laun pada penampang saluran tertentu, dan koefisien kekasaran yang semula dibuat untuk aliran seragam berlaku pula untuk aliran berubah lambat-laun. Anggapan ini tidak pernah dapat ditegaskan secara tepat menurut percobaan maupun teori-teori, tetapi kesalahan yang terjadi dianggap kecil dibandingkan dengan ketidaktepatan dalam pemakaian rumus aliran seragam dan pemilihan koefisien kekasarannya. Selama bertahun-tahun anggapan ini terbukti merupakan dasar yang baik untuk perancangan (Chow, 1989).



Gambar 2.9 Penggolongan profil aliran untuk aliran berubah lambat-laun

2.6.2 Persamaan Gerak dari Euler

Untuk aliran cairan yang tidak berkekentalan (*non-viscous*), Euler (1709-1783) menerapkan persamaan keseimbangan gaya-gaya yang bekerja pada suatu elemen cairan berbentuk *parallel eppipendum*.



Gambar 2.10 Skema tekanan pada permukaan suatu elemen cairan berbentuk parallel eppipendum

Dari skema pada Gambar 2.10 diketahui jumlah gaya-gaya yang bekerja diarah x adalah :

$$\begin{aligned}
 F_x &= p \, dy \, dz - \left[p + \frac{\partial p}{\partial x} dx \right] dy \, dz \\
 &= p \, dy \, dz - p \, dy \, dz - \frac{\partial p}{\partial x} dx \, dy \, dz \\
 \text{atau :} \\
 F_x &= - \frac{\partial p}{\partial x} dx \, dy \, dz \dots\dots\dots (2.23)
 \end{aligned}$$

Adapun jumlah gaya-gaya yang bekerja diarah y adalah :

$$F_y = p \, dy \, dz - \left[p + \frac{\partial p}{\partial y} dy \right] dx \, dz$$

$$= p \, dx \, dz - p \, dx \, dz - \frac{\partial p}{\partial y} dx \, dy \, dz$$

atau :

$$F_y = - \frac{\partial p}{\partial y} dx \, dy \, dz \dots\dots\dots (2.24)$$

Adapun jumlah gaya-gaya yang bekerja diarah **y** adalah :

$$F_z = p \, dy \, dz - \left[p + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right] dx \, dy$$

$$= p \, dx \, dy - p \, dx \, dy - \frac{\partial p}{\partial z} dx \, dy \, dz - p \, g \, dx \, dy \, dz$$

atau :

$$F_z = - \frac{\partial p}{\partial z} dx \, dy \, dz - p \, g \, dx \, dy \, dz \dots\dots\dots (2.24)$$

2.6.3 Deskripsi Parameter Model

2.6.3.1 Koefisien Manning (n)

Pada saluran sederhana koefisien kekasaran Mannin (n) dapat diasumsikan sama untuk semua bagian keliling basah saluran. Koefisien Manning tergantung pada jenis metrial dan kondisi kondisi saluran. Pada umumnya, nilai Manning sebaiknya dikalibrasikan dengan setiap pengamatan terhadap profil muka air.

Terdapat beberapa refrensi yang dapat digunakan dalam menentukan nilai “n”, salah satunya dengan mengacu pada hasil penelitian Ven te Chow pada bukunya yang berjudul “Hidrolika aluran Terbuka” (1959). Berikut merupakan hasil kasifikasi nilai n pada berbagai kondisi umum dari saluran. Nilai koefisien manning dapat dilihat pada lampiran.

2.6.3.1 Periode Ulang (*Return Period*)

Pada perencanaan bangunan hidrolis, maka diperlukan sebuah analisa hidrologi untuk menentukan kemungkinan debit maksimum yang terjadi. Dalam perhitungan debit maksimum tersebut, maka terdapat parameter “periode ulang” sebagai dasar perhitungan. Periode ulang menentukan lamanya umur bangunan,

besarnya dimensi bangunan, serta secara langsung akan berpengaruh pada tingginya biaya konstruksi.

Pemilihan suatu besaran nilai periode ulang yang digunakan untuk menentukan besaran debit banjir maksimum tergantung pada peruntukan dan jenis dari bangunan tersebut. **Tabel 2.4** menunjukkan beberapa kriteria dalam penentuan periode ulang, yaitu :

Tabel 2.8 Besaran Kala Ulang sesuai dengan Jenis Bangunan

No.	Jenis Bangunan	Kala Ulang Banjir (tahun)
1.	Bendungan urugan tanah (earth/rock fill)	1000
2.	Bendungan beton/batu kali (concrete dam/masonry)	500 – 1000
3.	Bendung (weir)	50 – 100
4.	Saluran pengelak banjir (flood diversion channel)	20 – 50
5.	Tanggul sungai	10 – 20
6.	Drainase saluran disawah/pemukiman	5 - 10

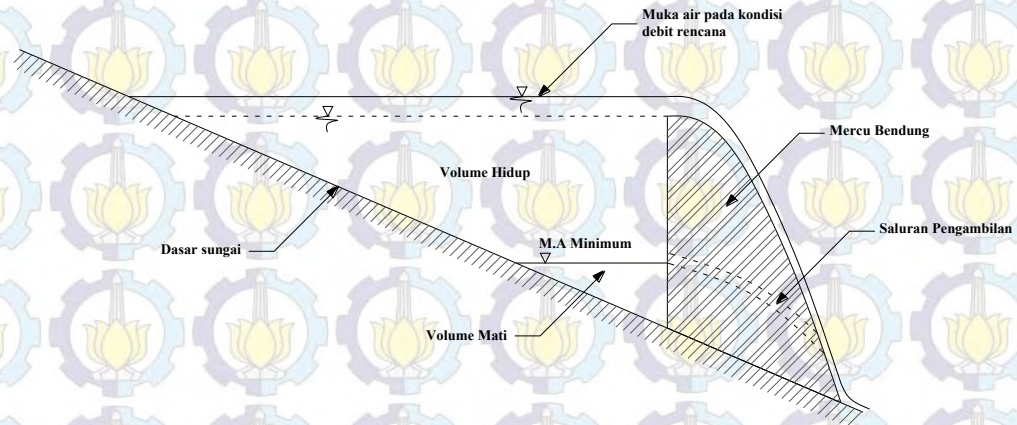
2.7 Bangunan Pengontrol Banjir

2.7.1 Waduk

Perencanaan waduk erat kaitannya dengan fungsi waduk pada saat dioperasikan. Kapasitas dan pembuangan air dari waduk harus direncanakan dengan cermat agar kapasitas tampungan dapat digunakan secara maksimum.

Storage (tampungan) waduk merupakan jumlah air yang akan ditampung/dialihkan dari debit limpasan (*runoff*) yang terjadi. Mengingat fungsi sebagai penampung air, maka waduk harus memiliki elevasi dan luas yang cukup. Untuk daerah yang tidak cukup luas, sehingga kedalaman waduk perlu ditingkatkan, sehingga lebih rendah dari muka air tanah. Oleh sebab itu maka perlu diperhitungkan juga aliran air tanah yang masuk sebagai debit tambahan yang masuk ke waduk.

Adapun zona-zona tampungan pada suatu waduk dapat dijelaskan melalui gambar berikut :



Gambar 2.11 Zona-zona volume waduk

2.7.2 Volume Waduk

Waduk (reservoir/storage) adalah kolam penampungan air yang berfungsi untuk menampung air pada saat musim hujan dan memanfaatkan air tampungan tersebut pada musim kemarau. Waduk berada pada lembah sungai yang bisa digunakan untuk penampungan, dibangun dengan membuat bendungan disungai lengkap dengan bangunan penunjang diantaranya Pelimpah, pintu air, dan bangunan pelimpah darurat.

Volume tampungan waduk direncanakan sesuai dengan tujuan dibangunnya waduk dan kebutuhan air rencana. Volume waduk yang terdapat disuatu bendungan biasanya terdiri atas tiga bagian utama, yakni *active storage*, *dead storage* dan *flood storage*.

1. *Active Storage*, adalah volume air waduk yang direncanakan untuk digunakan bagi pemakai dihilirnya, contoh : air untuk kebutuhan PLTA maupun irigasi.
2. *Dead Storage*, adalah volume waduk yang terletak dibagian bawah dari bangunan pelimpah, volume ini diperuntukkan bagi endapan sedimen yang masuk ke waduk. Volume dari *dead storage* merupakan penentu umur pemanfaatan waduk.

3. Flood Storage, adalah sebagian volume aktif waduk yang digunakan untuk mengontrol/mengendalikan debit banjir yang terjadi. Volume ini terdapat pada bagian atas dari mercu pelimpah. Sebagai sarana pengendali banjir, waduk diupayakan untuk menekan/menurunkan debit puncak dengan cara menyimpan sebagian air dan akan dilepas sedikit demi sedikit, sesuai dengan kapasitas sungai.

2.7.3 Penelusuran Banjir (*Flood Routing*)

Penelusuran banjir dapat juga diartikan sebagai penyelidikan perjalanan banjir (*flood tracking*) yang didefinisikan sebagai upaya prakiraan corak banjir pada bagian hilir berdasarkan corak banjir di daerah hulu (sumbernya). Oleh karena itu dalam kajian hidrologi penelusuran banjir digunakan untuk peramalan banjir dan pengendalian banjir (Sunu Tikno, 2002).

Terdapat beberapa metode penelusuran banjir, salah satunya yaitu penelusuran banjir hidrologis dan penelusuran banjir hidrolis. Pada penelusuran hidrologis dapat berupa penelusuran waduk atau sungai.

Penelusuran banjir dinyatakan dalam bentuk persamaan kontinuitas. Untuk melakukan perhitungan dengan persamaan kontinuitas, maka dimensi waktu (t) harus dibagi menjadi periode-periode Δt yang lebih kecil, yang disebut sebagai periode penelusuran (*routing period*). Periode penelusuran (Δt) harus dibuat lebih kecil dari tempuh dalam bagian memanjang sungai tersebut, sehingga selama periode penelusuran puncak banjirnya tidak dapat menutup bagian memanjang sungai secara menyeluruh (Soemarto, C.D., 1987). Persamaan kontinuitas yang dipakai adalah :

$$I - O = \frac{dS}{dt} \dots\dots\dots (2.25)$$

dimana :

I = Aliran masuk (*inflow*) $\rightarrow m^3/dt$

O = Aliran keluar (*outflow*) $\rightarrow m^3/dt$

dS = Perubahan tampungan (*storage*) $\rightarrow m^3$

dt = Interval waktu penelusuran (detik atau jam atau hari)

Persamaan (2.25) menunjukkan bahwa perubahan tampungan antara interval waktu (dt) adalah sama dengan aliran masuk dikurangi aliran keluar.

Terdapat hubungan antara tampungan, aliran masuk dan aliran keluar. Dalam persamaan (2.25), aliran masuk (I) diketahui, sedangkan terdapat 2 (dua) parameter lain yang belum diketahui yaitu O dan S. Parameter O dan S tidak dapat diselesaikan secara langsung, diperlukan persamaan lain untuk menyelesaikannya yang disebut fungsi tampungan, dimana persamaan ini merupakan hubungan antara I, S, dan O.

Menurut Mc Carthy dalam Wilson (1974) yang kemudian dikenal sebagai metode Muskingum, diajukan suatu persamaan yaitu :

$$S = KO + Kx(1 - O) \dots\dots\dots (2.26)$$

dimana :

S = Volume tampungan (m³)

I = Aliran masuk (inflow) → m³/dt

O = Aliran keluar (outflow) → m³/dt

K = Koefisien tampungan, yaitu perkiraan waktu perjalan air sungai

x = Faktor pembobot, yang bervariasi antara 0 – 0,5

Suatu waduk dilengkapi dengan bangunan pelimpah (*spillway*). Aliran yang melalui pelimpah tergantung pada lebar bangunan pelimpah (B), tinggi pelimpah (H) dan koefisien debit (C_d) yang dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$Q_o = C_d BH^{3/2} \dots\dots\dots (2.27)$$

dimana :

Q_o = Debit outflow (m³/dt)

C_d = Koefisien Debit

B = Lebar Pelimpah (m)

H = Tinggi pelimpah (m)

Persamaan (2.27) dapat diselesaikan secara numerik dengan membuat diskritisasi numerik. Apabila interval waktu penelusuran adalah Δt, maka persamaan (2.27) ditulis menjadi :

$$\frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{O_1 + O_2}{2} = \frac{S_1 - S_2}{\Delta t} \dots\dots\dots (2.28)$$

dimana :

I_1, I_2 = Aliran masuk pada waktu ke-1 dan ke-2

O_1, O_2 = Aliran keluar pada waktu ke-1 dan ke-2

S_1, S_2 = Tampung pada waktu ke-1 dan ke-2

Δt = Interval waktu

2.8 Konsep Pemodelan menggunakan Software

2.8.1 Pemodelan Hidrologi

2.8.1.1 Gambaran Umum HEC-HMS

HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Centre – Hydrologic Modeling System*) merupakan *software* pemodelan hidrologi yang dikembangkan oleh U.S. Army Corp of Engineers. Software ini dikembangkan untuk mempermudah perhitungan volume *runoff*, *direct runoff*, *baseflow* dan *routing*.



US Army Corps
of Engineers
Hydrologic Engineering Center

Hydrologic Modeling System
HEC-HMS

Pendekatan sistem DAS yang digunakan pada HEC-HMS dapat digambarkan bahwa hujan merupakan input yang diproses berdasarkan propertis dari sistem DAS yang menghasilkan suatu output berupa debit (*runoff*). Proses tersebut dapat diilustrasikan seperti **Gambar 2.14**.



Gambar 2.12 Transformasi hujan menjadi aliran (HEC-HMS)

Dalam HEC-HMS terdapat beberapa model yang terpisah dimana masing-masing model yang dipilih mempunyai input yang berbeda-beda.

Beberapa model yang digunakan untuk menghitung volume runoff, direct runoff, baseflow dan channel flow ditunjukkan pada Tabel

Tabel 2.9 Metode Pemodelan pada HEC-HMS

No.	Komputasi	Model
1.	<i>Precipitation</i>	<ul style="list-style-type: none"> - User Hydrograph - User Gage Weighting - Inverse Distance Gage Weight - Gridded Precipitation - Frequency Storm - Standart Project Storm
2.	<i>Volume Runoff</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Initial and Constant Rate - SCS Curve Number - Gridded SCS CN - Green and Ampt - Deficit and Constant Rate - Soil Moisture Accounting (SMA) - Gridded SMA
3.	<i>Direct Runoff (Overland Flow dan Interflow)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - User-Specified Unit Hydrograph - Snyder Unit Hydrograph - SCS Unit Hydrograph - Clark Unit Hydrograph - ModClark Model - Kinematic Wave Model
4.	<i>Base Flow</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Constant Montly - Exponential Reccesion - Linier Reservoir
5.	<i>Channel Flow</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Kinematic Wave - Lag Model - Modified Puls - Muskingum - Muskingum – Cunge Model

Sumber : Technical Refrence Manual HEC-RAS (2000)

Dalam HEC-HMS terdapat beberapa model yang terpisah, dimana masing-masing model yang dipilih memiliki input yang berbeda-beda. Komputasi dan penyelesaian model menggunakan komponen berupa : Variabel tetap, parameter, kondisi batas dan kondisi awal.

Komponen dasar yang digunakan dalam pemodelan ini adalah model basin (DAS), model meteorologi dan kontrol spesifikasi. Pemodelan komprehensif juga memasukkan komponen data berupa time series dan paired grid.

2.8.1.2 Parameter Input pada HEC-HMS

Pada penggunaan HEC-HMS terdapat beberapa parameter input, diantaranya :

Basin Model (Model daerah tangkapan)

Representasi fisik dari *catchment area* (daerah tangkapan) didefinisikan dalam *Basin Model*. Elemen-elemen hidrologi berhubungan dalam jaringan yang mensimulasikan sebuah proses limpasan langsung (*run off*). Elemen-elemen yang digunakan untuk mensimulasikan limpasan adalah subbasin, reservoir, reach dan junction.

Sub Basin Model (Model Sub DAS)

Parameter Sub Basin merupakan model dari sub DAS pada sebuah DAS dan hanya memiliki 1 outflow.

Reservoir (Tampungan)

Parameter Reservoir adalah elemen dengan satu atau lebih inflow dan satu perhitungan outflow. Inflow masuk dari elemen lain dalam suatu DAS. Reservoir dapat berupa waduk, danau, atau empang.

Reach (Sungai)

Parameter Reach adalah sebuah elemen dengan satu atau lebih inflow dan hanya memiliki satu outflow. Inflow datang dari elemen/parameter lain dalam sebuah DAS.

Junction

Parameter Junction merupakan sebuah model pertemuan dari reach atau Sub Basin yang hanya memiliki satu atau lebih inflow dan hanya memiliki 1 outflow.

Diversion

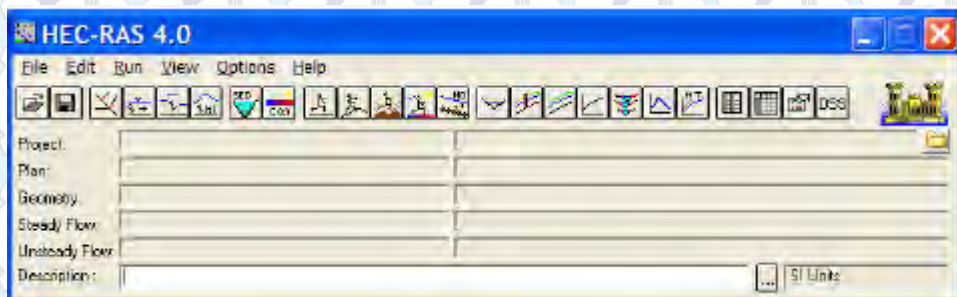
Parameter diversion adalah model dari bentuk percabangan sungai yang memiliki 2 outflow.

2.8.1 Pemodelan Hidrolika

2.8.1.1 Gambaran Umum HEC-RAS

HEC-RAS merupakan program aplikasi untuk memodelkan aliran sungai, River Analysis System (RAS), yang dikembangkan oleh Hydrologic Engineering Centre (HEC) yang merupakan satu divisi didalam Institute for Water Resources (IWR), dibawah US Army Corps of Engineers (USACE). HEC-RAS merupakan pemodelan aliran 1 dimensi baik untuk aliran permanen (steady flow) maupun aliran tidak permanen (unsteady flow). HEC-RAS memiliki empat komponen model 1 dimensi, diantaranya :

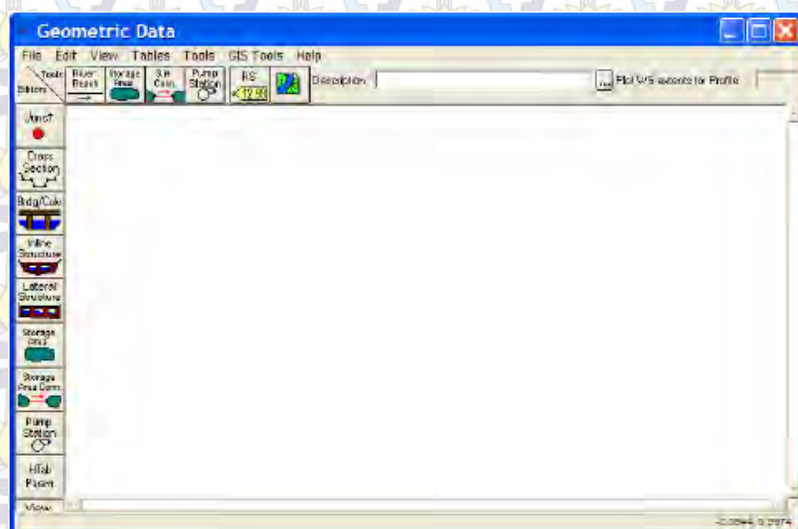
- Hitungan profil muka air aliran permanen (Steady flow Analysis)
- Hitungan profil muka air aliran tak permanen (Unsteady flow Analysis)
- Hitungan Transpor sedimen
- Hitungan Kuasi air



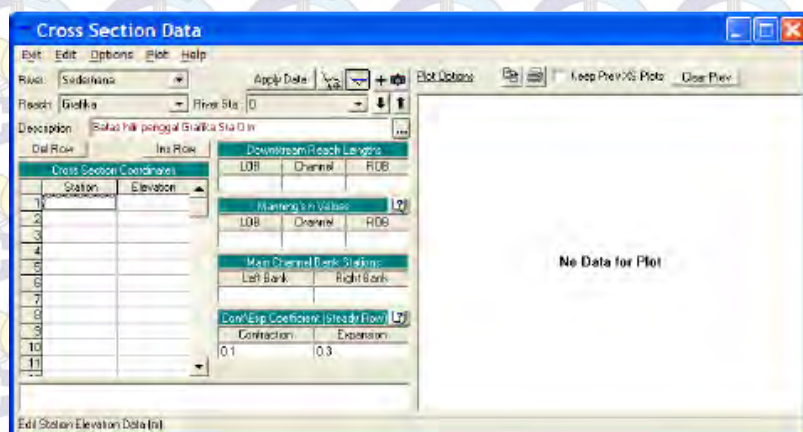
Gambar 2.13 Tampilan awal program HEC-RAS

2.8.1.2 Peniruan Geometri Saluran/Sungai

Parameter geometri saluran/sungai yang dibutuhkan pada input HEC-RAS adalah alur sungai, tampang panjang dan lintang, kekasaran dasar (koefisien Manning), kehilangan energi ditempat perubahan tampang saluran (koefisien ekspansi dan kontraksi). HEC-RAS juga membutuhkan geometri struktur hidrolis yang ada disepanjang sungai, misal jembatan, pintu air, bendung, pelimpah dan sejenisnya.



Gambar 2.14 Jendela Editor Geometrik Data



Gambar 2.15 Jendela Editor Cross Section Data

Pada tampang melintang, apabila dibutuhkan interpolasi pada cross section maka digunakan menu Interpolasi tampang lintang pada Menu *Geometric Editor* → *Tools* → *XS Interpolation*.

2.8.1.2 Unsteady Flow Analysis

Unsteady flow Analysis merupakan fasilitas simulasi pada HEC-RAS yang memiliki kemampuan melakukan simulasi pada alur sungai yang kompleks. Pada analisis Unsteady Flow, dibutuhkan data berupa geometri sungai dan data aliran berupa Hidrograf debit dan waktu simulasi. Hal ini untuk melihat profil muka air sesuai dengan interval waktu yang diinginkan.



Flow Hydrograph

River: Sederhana, Reach: Blank, RS: 1000

☐ Read from DSS before simulation. Select DSS file and Path:

File:

Path:

☒ Enter Table. Datetime Interval: 1 Hour

Select/Enter the Data's Starting Time Reference:

☒ Use Simulation Time. Date: Time:

☐ Fixed Start Time. Date: Time:

No. Ordinates: Interpolate Missing Values: ☐ Del Row: Ins Row:

	Date	Simulation Time (hours)	Flow (m³/s)
1		00:00	3
2		01:00	3
3		02:00	3
4		03:00	6
5		04:00	9.57
6		05:00	9.14
7		06:00	4.71

Time Step Adjustment Options: ("Critical" boundary conditions)
Monitor this hydrograph for adjustments to computational time step

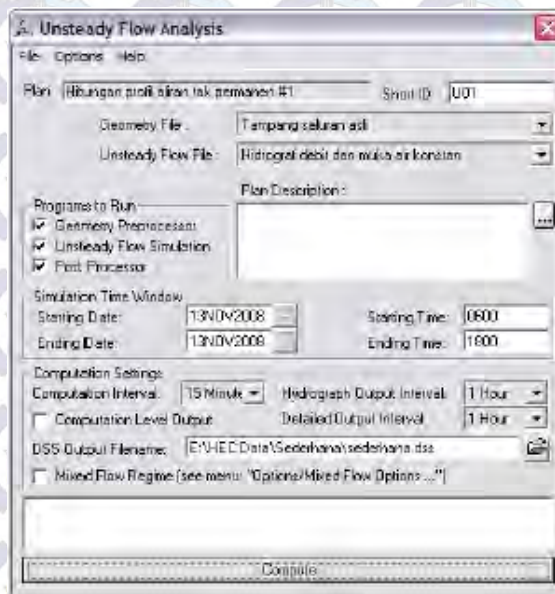
Result Time Interval (minutes):

Min Flow: Multiplier:

Plot Data OK Cancel

Gambar 2.16 Jendela input data Hidrograf

Setelah proses input parameter selesai, maka data siap untuk dilakukan proses analisa. Untuk melakukan analisa pilih menu *Run* → *Unsteady Flow Analysis*.



Gambar 2.17 Tampilan pada menu Unsteady Flow Analysis

2.9 Studi/penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang mirip dan berkaitan dengan penelitian ini. Beberapa penelitian sebelumnya memiliki lokasi penelitian yang sama namun terdapat perbedaan pembahasan yang dilakukan. Selain itu terdapat beberapa penelitian yang memiliki tujuan yang mirip namun terdapat beberapa perbedaan seperti metode perhitungan yang digunakan, lokasi penelitian dan skenario penanganan. Berikut beberapa penelitian sebelumnya :

Tabel 2.10Perbandingan penelitian sebelumnya dengan penelitian yang dilakukan

No.	Judul & Penulis	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1.	“Kajian Alternatif Penanggulangan Banjir (Studi Kasus Sungai Ladapa di Kabupaten Gorontalo)” <i>Sarminingsih, A. (2007)</i>	Melakukan evaluasi pemilihan alternatif upaya penanggulangan banjir secara struktural	Penelitian menggunakan pendekatan sistem tata air, penggunaan alahan dan sosial ekonomi. Perhitungan debit rencana menggunakan perangkat lunak HEC-HMS dengan metode HSS Snyder. Untuk analisa hidrolika menggunakan perangkat lunak HEC-RAS.	<ul style="list-style-type: none"> - Mengetahui hasil evaluasi terhasap beberapa alternatif dari penanggulangan banjir baik secara struktural dan non Struktural. - Untuk struktural, alternatif menggunakan tanggul dan pintu klep. Penggunaan waduk retensi memiliki efektifitas dalam menurunkan debit puncak banjir. - Sedangkan untuk non-struktural yaitu dengan reboisasi, relokasi penduduk bantaran sungai dan peringatan dini banjir
2.	“ ennilaian Tingkat Kerusakan Daerah Aliran Pada Sub sub DAS Bayur di Sub DAS Karang Mumus” <i>Ismail (2007)</i>	Untuk mengetahui besarnya curah hujan, debit air dan sedimen pada Sub sub DAS Bayur Sub DAS Karang Mumus dan menentukan nilai kerusakan pada sub sub DAS Bayur Sub DAS Karang Mumus	Penelitian menggunakan indikator Koefisien regim sungai, dimana indikator tersebut adalah perbandingan debit aliran maksimum dengan debit aliran minimum harian dalam satu tahun pengamatan. Selain itu dengan menggunakan indikator nilai koefisien pengaliran (C) sebagai penenti tingkat kerusakan DAS.	Mengetahui kondisi wilayah sub sub DAS Bayur dimana kondisi wilayah masuk dalam kategori agak buruk. Dengan total aliran limpasan yang terpantau dalam kurun waktu 2005 sebesar 51.671 m ³ /dt.
3.	“ t udi Alternatif Pengendalian Banjir Sungai Tondano di Kota	Menentukan ruas-ruas kritis di Sungai Tondano guna penentuan prioritas	Penentuan debit banjir berdasarkan kala ulang 5th dengan meghitung debit menggunakan hidrograf satuan sistetis	<ul style="list-style-type: none"> - Diketahui banjir sungan Tondano akibat fullbank capacity sungai yang kecil (87m³/dt). Untuk debit dengan kala ulang 5th, kombinasi rencana tanggul

	Manado” Nanlohy, B. J. B., Jayadi, R. dan Istiarto (2008)	pembangunan dan mendapatkan alternatif pengendalian banjir terbaik berdasarkan kajian beberapa alternatif yang ada.	Nakayasu dan HSS GAMA I pada DAS Tondano dan DAS Tikala. Penggunaan data pasang – surut pada muara sebagai bahan kajian alternatif pengendalian banjir.	dan normalisasi tidak terjadi limpasan. - Adanya pengaruh backwater membuat harus adanya revisi tanggul pada bagian ruas sungai tertentu.
4.	“Keseimbangan Air sub DAS Karang Mumus di Kota Samarinda” Ismail (2009)	Untuk mengetahui kondisi keseimbangan air sub DAS Karang Mumus termasuk kondisi unsur-unsur iklim khususnya hujan dan kondisi hidrologinya	Metode yang digunakan adalah metode yang dikemukakan oleh Hewlett dan Nutter dengan parameter berupa Curah hujan bulanan, evapotranspirasi total, debit limpasan permukaan dan perubahan kandungan air tanah.	Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa debit sungai Karang Mumus tertinggi terjadi pada bulan April. Selain itu sub DAS Karang mumus memiliki surplus air selama 8 bulan dengan nilai kumulatif sebesar 478.8 mm/tahun dan defisit air selama 4 bulan (44.5 mm/th)
5.	“Perencanaan Pengendalian Banjir Kali Kemuning, Samarinda” Cahyono, A. T. (2011)	<ul style="list-style-type: none"> - Mengetahui kapasitas tampung kali kemuning - Mengetahui kemampuan alur kali kemuning terhadap debit banjir rencana - Mengetahui alternatif pengendalian banjir Kali Kemuning - Mengetahui kinerja dari beberapa alternatif yang digunakan. 	<ul style="list-style-type: none"> - Melakukan survey lapangan - Perhitungan debit banjir menggunakan HSS Nakayasu. - Analisa hidrolika menggunakan software HEC-RAS dengan metode Steady Flow - Alternatif I berupa sudetan pada kali kemuning - Alternatif II berupa Normalisasi kali Kemuning - Alternatif III berupa sudetan dan penutupan kali kemuning eksisting. 	<ul style="list-style-type: none"> - Debit puncak dengan kala ulang 25th adalah 317.268 m³/dt. - Diketahui beberapa ruas kali Kemuning tidak mampu mengalirkan debit banjir - Alternatif yang bisa digunakan adalah alternatif II dan III

6.	<p>“emanfaatan itra Pengindraan Jauh Multitemporal Untuk Kajian Tingkat Bahaya Erosi (Kasus di Sub DAS Karang Mumus, Kalimantan Timur)”</p> <p><i>Fatmanegara, M. A. dan Jatmiko, R. H. (2013)</i></p>	<p>Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan citra pengindraan jauh untuk menilai perubahan lahan yang terjadi, selain itu untuk mengetahui tingkat bahaya erosi akibat kegiatan pembukaan lahan, serta mengetahui faktor dominan yang mempengaruhi proses erosi.</p>	<p>Penggunaan citra satelit untuk melihat perubahan tata guna lahan dan penentuan kerusakan lahan.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sub DAS Karang Mumus terbagi menjadi 7 kelas penggunaan lahan dengan jenis semak belukar merupakan penggunaan lahan yang dominan. - Tingkat erosi masuk pada kelas sedang (2007) dengan luas 10056.72 Ha. - Tingkat erosi tahun 2009 meningkat menjadi kategori Berat.
7.	<p>“emodelan Hidrologi untuk Penentuan Tingkat Prioritas Sub DAS dalam Pengendalian Banjir Menggunakan Citra Pengindraan Jauh dan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus di Sub DAS Karang Mumus, Kalimantan Timur)”</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Menganalisis karakteristik fisik Sub DAS Karang Mumus - Memodelkan limpasan permukaan dari limpasan permukaan Sub DAS Karang Mumus Menggunakan GIS Surface Hydrology Tools - Menentukan tingkat 	<p>Pemodelan hidrologi dilakukan untuk limpasan permukaan dengan basis raster menggunakan metode Cook yang dimodifikasi SCDT (2011).</p> <p>Metode mempertimbangkan karakteristik fisik DAS (kemiringan lereng, infiltrasi tanah, tutupan vegetasi dan kerapatan aliran). Penentuan karakteristik DAS dilakukan dengan informasi dari citra pengindraan jauh, data meteorologi, data</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Citra pengindraan jauh cukup akurat dalam mengekstraksi informasi variabel lahan (86.3% untuk data DEM; 85.8% untuk kemiringan lereng dan 84.6% untuk tutupan lahan) - Kemiringan lereng dan tutupan lahan merupakan karakteristik DAS yang paling mempengaruhi kejadian limpasan permukaan - SSD Karang Mumus Hulu menjadi prioritas utama dalam pengendalian banjir.

	Ramadhani, A. (2013)	prioritas sub sub DAS di Sub DAS Karang Mumus dalam pengendalian banjir Kota Samarinda berdasarkan Informasi Aliran Permukaan	sekunder dan survey lapangan. GIS Hydrology Surface Tools menggunakan data DEM dioperasikan untuk penentuan akumulasi limpasan permukaan. Akumulasi limpasan permukaan dibandingkan dengan kapasitas maksimum sungai untuk penentuan prioritas sub sub DAS dalam pengendalian banjir.	
8.	“ t udi engendalian Banjir Kali Wrati Kabupaten asuruan” K. Rizal A., Harisuseno, D. dan Dermawan, V. (2014)	Menganalisis kala ulang kejadian banjir yang pernah terjadi di Kali Wrati , mengetahui upaya-upaya pengendalian banjir yang bisa dilakukan pada sungai tersebut serta besarnya biaya yang dikeluarkan untuk pembangunan pengendalian banjir Kali Wrati.	<ul style="list-style-type: none"> - Perhitungan debit banjir rencana menggunakan HSS Nakayasu. - Analisa profil muka air menggunakan HEC-RAS metode Steady Flow. 	<ul style="list-style-type: none"> - Debit puncak 17.811 m³/dt untuk kala ulang 25th. - Banjir dapat dikendalikan dengan 2 (dua) solusi yaitu pembuatan koneksi antara kali Wrati dengan Kali Bangiltak. yang kedua dengan menggunakan retarding basin dengan volume retarding basin I 1603m³, retarding basin II 3201m³.
9.	“Analisa Penanggulangan Banjir Sungai Karang Mumus, Samarinda” Sukmara, Riyan Benny	- Mengetahui kemampuan sungai Karang Mumus akibat debit banjir yang mengalir pada kondisi	<ul style="list-style-type: none"> - Perhitungan debit rencana menggunakan HSS SCS Curve Number - Tinjauan profil muka air menggunakan HEC-RAS metode <i>Unsteady Flow Analysis</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Debit puncak pada kala ulang 20th untuk titik kontrol muara sungai sebesar 516.8m³/dt. - Perubahan kapasitas waduk tidak berpengaruh signifikan, terbukti dengan percobaan normalisasi

	(2014)	<p>eksisting.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mengetahui profil muka air Sungai Karang Mumus akibat debit kondisi eksisting yang mengalir. - Mengetahui kemampuan reduksi debit banjir setelah penerapan model skenario penanggulangan banjir. - Mengetahui profil muka air Sungai Karang Mumus setelah penerapan model skenario penanggulangan banjir. - Mengetahui solusi dan menyusun rekomendasi penanggulangan banjir yang dapat diaplikasikan pada Sungai Karang Mumus. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alternatif yang digunakan pada skenario pengendalian banjir menggunakan beberapa metode, yaitu Normalisasi waduk, rencana bangunan pengendali banjir (bendali) dan normalisasi penampang sungai. 	<p>waduk, nilai reduksi debit banjir (kala ulang 20th) pada outlet waduk hanya sebesar 13.69% dan pada titik kontrol hilir hanya sebesar 0.31%.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aliran lateral berpengaruh besar pada besarnya debit setelah outlet waduk Benanga - Alternatif Kombinasi Normalisasi Waduk dan Penggunaan bangunan pengendali banjir menghasilkan nilai reduksi sebesar 59.2% pada outlet waduk dan 26% pada titik kontrol bagian hilir. - Dari hasil analisa, diketahui tinggi pasang-surut Sungai Mahakam sangat berpengaruh dalam tingginya elevasi muka air bagian hilir, sehingga perlu ada koreksi penampang sungai yaitu dengan penambahan tanggul sungai hingga elevasi +4m sampai dengan jarak yang dipengaruhi oleh adanya <i>Back Water</i>.
--	--------	--	--	---

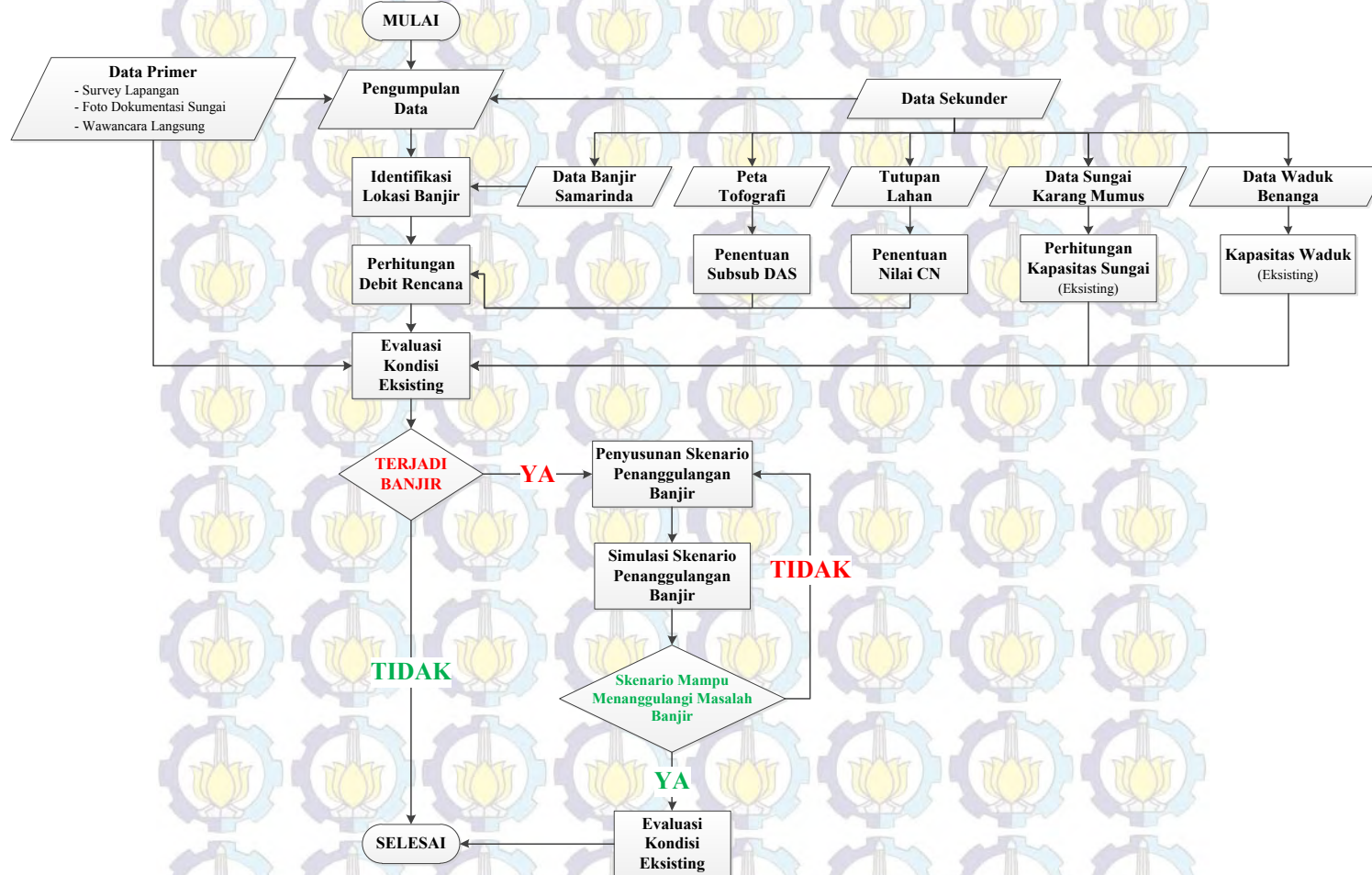
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Penelitian tentang “Analisa Penanggulangan Banjir Sungai Karang Mumus Samarinda” bermula dari permasalahan banjir yang terjadi di Samarinda. Banjir di Samarinda merupakan permasalahan yang terbilang cukup kompleks, karena kondisi topografi yang bervariasi dimana bagian hulu yang didominasi dataran tinggi/perbukitan dan daerah hilir yang relatif datar (*flat*). Hal ini menyebabkan kecepatan aliran di hilir relatif rendah sehingga menyebabkan tingginya elevasi muka air dan menurunnya kapasitas sungai. Selain karena kondisi topografi, ada hal yang cukup penting dalam peningkatan debit limpasan yang terjadi, yaitu perubahan tutupan lahan, dimana hal ini terjadi di daerah tangkapan air dari waduk Benanga. Disamping itu, hasil pengukuran kapasitas waduk Benanga mengalami penurunan kapasitas tampungan (ditunjukkan oleh lengkung kapasitas), dan secara otomatis akan berpengaruh pada kemampuan sungai (Sungai Karang Mumus) untuk menampung debit dari outlet waduk.

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis terhadap Muka Air pada Sungai Karang Mumus (SKM) akibat perubahan kapasitas waduk Benanga, selain itu analisis juga dilakukan dengan mempertimbangkan aliran lateral yang masuk kedalam SKM. Proses analisis dilakukan dengan penyusunan skenario-skenario dalam penanganan masalah banjir yang terjadi, dimana nantinya pemilihan alternatif terbaik dari skenario-skenario yang telah disusun sebelumnya juga akan mempertimbangkan kesesuaian dalam pelaksanaan dilapangan yang menyangkut ketersediaan lahan di wilayah penanganan. Kerangka penelitian ini digambarkan dalam diagram alir pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Diagram Alir

3.2 Penjelasan Bagan Alir

3.2.1 Persiapan

Tahap persiapan merupakan rangkaian kegiatan sebelum masuk pada tahap pengumpulan data. Tahap persiapan meliputi kegiatan :

- Studi Literatur

Studi literatur terhadap sumber-sumber pustaka baik buku referensi maupun hasil-hasil penelitian sebelumnya yang nantinya akan digunakan dalam penelitian. Bidang literatur yang digunakan antara lain :

- a. Hidrolika Saluran Terbuka
- b. Hidrologi
- c. Manajemen Sumber Daya Air
- d. Manajemen Banjir Kota
- e. Pemodelan Hidrolika dan Hidrologi

- Survey Lapangan

Survey lapangan dilakukan untuk mengetahui kondisi asli/eksisting lokasi penelitian, hal ini dimaksudkan agar nantinya hasil penelitian sesuai dan dapat dilaksanakan di lapangan.

3.2.2 Pengumpulan Data

Dalam Thesis kali ini digunakan beberapa metode pengumpulan data, yaitu :

- Metode Observasi

Metode ini merupakan pengumpulan data langsung dengan survey kondisi lapangan secara langsung.

- Metode Literatur

Yaitu penhumpulan/pengambilan data melalui dokumen tertulis maupun elektronik dari sumber terkait (instansi).

- ***Metode Wawancara***

Metode pengumpulan data dengan melakukan wawancara langsung pada pihak yang bersangkutan dan berkaitan dengan topic permasalahan (Institusi maupun Instansi terkait)

Terdapat 2 (dua) jenis data yang dibutuhkan dalam dalam penelitian kali ini, diantaranya :

Data Primer

- ***Foto***

Foto yang dimaksud adalah foto kondisi eksisting pada lokasi studi

- ***Survey***

Survey yang dimaksud disini adalah data hasil identifikasi kondisi lapangan yang berkaitan dengan kebutuhan studi.

Data Sekunder

- ***Data Hidrologi***

Data hidrologi dapat berupa data curah hujan dalam *range* waktu 10 (sepuluh) tahun terakhir.

- ***Data Debit Sungai Karang Mumus***

Data hasil pengukuran pada AWLR setempat (Sungai Karang Mumus), yang nantinya digunakan sebagai pembanding pada pemodelan hidrologi.

- ***Data Tofografi Samarinda***

Data tofografi berupa peta tofografi (kontur) wilayah studi

- ***Data RTRW (Rencana Tata Ruang Wilayah) Samarinda***

Data RTRW digunakan untuk melihat tata guna lahan di wilayah studi

- ***Data Lokasi Titik Banjir di Samarinda***

Data ini merupakan data spesifik lokasi banjir yang terjadi di wilayah studi.

- ***Data Waduk Benanga***

Data ini berupa data kapasitas dari waduk Benanga

3.2.3 Analisa

Proses analisa terdiri dari analisa kondisi Eksisting dan kondisi setelah pengaplikasian Skenario.

Kondisi Eksisting

Analisa Hidrologi

Analisa hidrologi digunakan untuk memperoleh debit banjir dari Skema Eksisting. Dalam proses ini digunakan berbagai metode perhitungan dan dibantu dengan perangkat lunak HEC-HMS.

Analisa Hidrolika

Analisa hidrolika dilakukan untuk melihat kondisi profi muka air di Sungai Karang Mumus pada kondisi eksisting. Dari kondisi kondisi eksisting dapat terlihat apakah terjadi banjir atau tidak. Jika terjadi banjir maka proses dilanjutkan pada proses penanggulangan banjir.

Penanggulangan Banjir

Penyusunan Skenario

Penyusunan skenario penanganan banjir dilakukan setelah proses evaluasi terhadap hasil analisa hidrologi dan hidrolika pada kondisi eksisting Sungai Karang Mumus. Skenario disusun untuk mendapatkan alternatif penanganan banjir yang efektif.

Analisa Hidrolika (Simulasi)

Analisa hidrolika dilakukan untuk menguji skenario-sekenario penanganan masalah banjir terhadap kemampuan sungai dalam menampung debit yang mengalir di Sungai Karang Mumus. Analisa dilakukan dengan program bantu HEC-RAS 4.10.

Pemilihan Alternatif Terbaik

Pemilihan alternatif terbaik dilakukan dengan metode pengambilan keputusan, dimana parameter-parameter yang menjadi tolok ukur adalah kecukupan penampang sungai dalam menampung debit yang mengalir, kesesuaian terhadap kondisi lapangan dan parameter lainnya akan ditentukan selanjutnya.

3.2.3 Penysunan Rekomendasi

Setelah semua proses analisa selesai, maka akan dilakukan proses penyusunan rekomendasi yang nantinya akan menjadi bagian dari kesimpulan penelitian ini.

BAB IV LOKASI STUDI

4.1 Gambaran Umum

Sub DAS Karang Mumus merupakan bagian dari DAS Mahakam berada di wilayah kewenangan Balai Besar Wilayah Sungai Kalimantan III. Sub DAS Karang Mumus terletak di sebagian besar wilayah Kota Samarinda dan sebagian kecil wilayah Kabupaten Kutai Kartanegara.



Gambar 4.1 Lokasi studi (kota Samarinda, Kal-Tim)

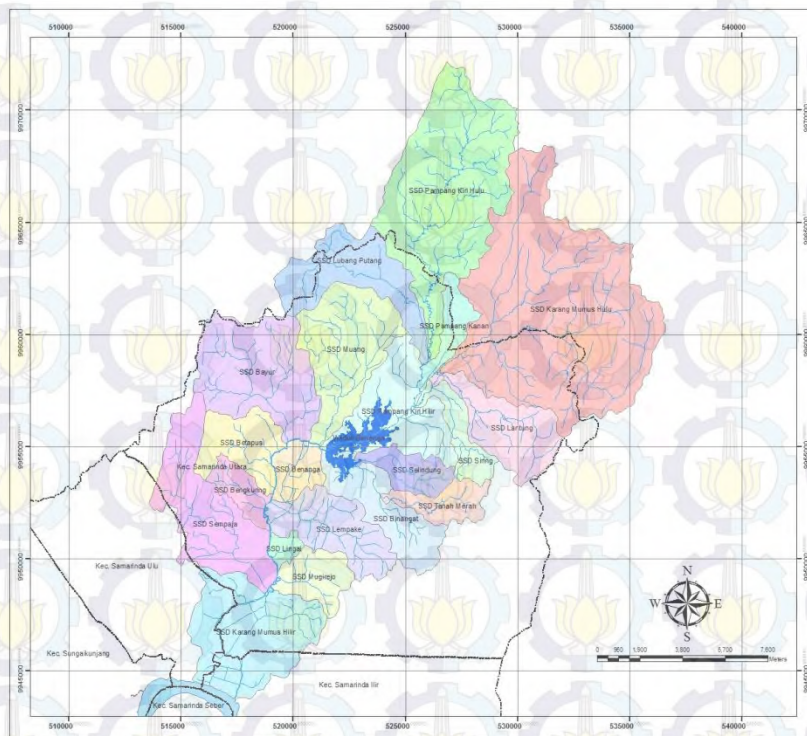
Sub DAS ini terletak pada koordinat geografis $0^{\circ}15'06,7''$ – $0^{\circ}30'33,4''$ LS dan $117^{\circ}7'19,2''$ – $117^{\circ}19'43,7''$ BT, dan pada koordinat UTM 513575 – 536589 mT dan 9943710 – 9972162 mU. Untuk wilayah Samarinda, sub DAS Karang Mumus mencakup beberapa kecamatan diantaranya kecamatan Samarinda Utara, sebagian kecamatan Sungai Pinang, Samarinda Ulu, Samarinda Ilir, kecamatan Sambutan dan Kecamatan Samarinda Kota. Pada kabupaten Kutai Kartanegara mencakup wilayah kecamatan Muara Badak.

(Sumber : Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Kalimantan Timur)

Gambar 4.2 Pembagian Sub sub DAS Karang Mumus

Sub DAS Karang Mumus memiliki luas daerah tangkapan (Catchment Area) seluas $321,6 \text{ Km}^2$ dengan panjang sungai utama +15km. Wilayah sub DAS dibagi menjadi 3 (tiga) bagian, yaitu Sub DAS Karang Mumus Hulu, sub DAS Karang Mumus Tengah, sub DAS Karang Mumus Hilir.

Berdasarkan kajian pada penelitian sebelumnya, Ramadhani (2013) mengelompokkan subsub DAS menjadi 3 bagian, yaitu bagian hulu, tengah dan hilir. Berikut diskripsi dari kelompok subsub DAS tersebut :



(Sumber : Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Kalimantan Timur)

Gambar 4.2 Pembagian Sub sub DAS Karang Mumus

Sub DAS Karang Mumus memiliki luas daerah tangkapan (Catchment Area) seluas 321,6 Km² dengan panjang sungai utama +15km. Wilayah sub DAS dibagi menjadi 3 (tiga) bagian, yaitu Sub DAS Karang Mumus Hulu, sub DAS Karang Mumus Tengah, sub DAS Karang Mumus Hilir.

Berdasarkan kajian pada penelitian sebelumnya, Ramadhani (2013) mengelompokkan subsub DAS menjadi 3 bagian, yaitu bagian hulu, tengah dan hilir. Berikut diskripsi dari kelompok subsub DAS tersebut :

Tabel 4.1 Sub Sub DAS Karang Mumus

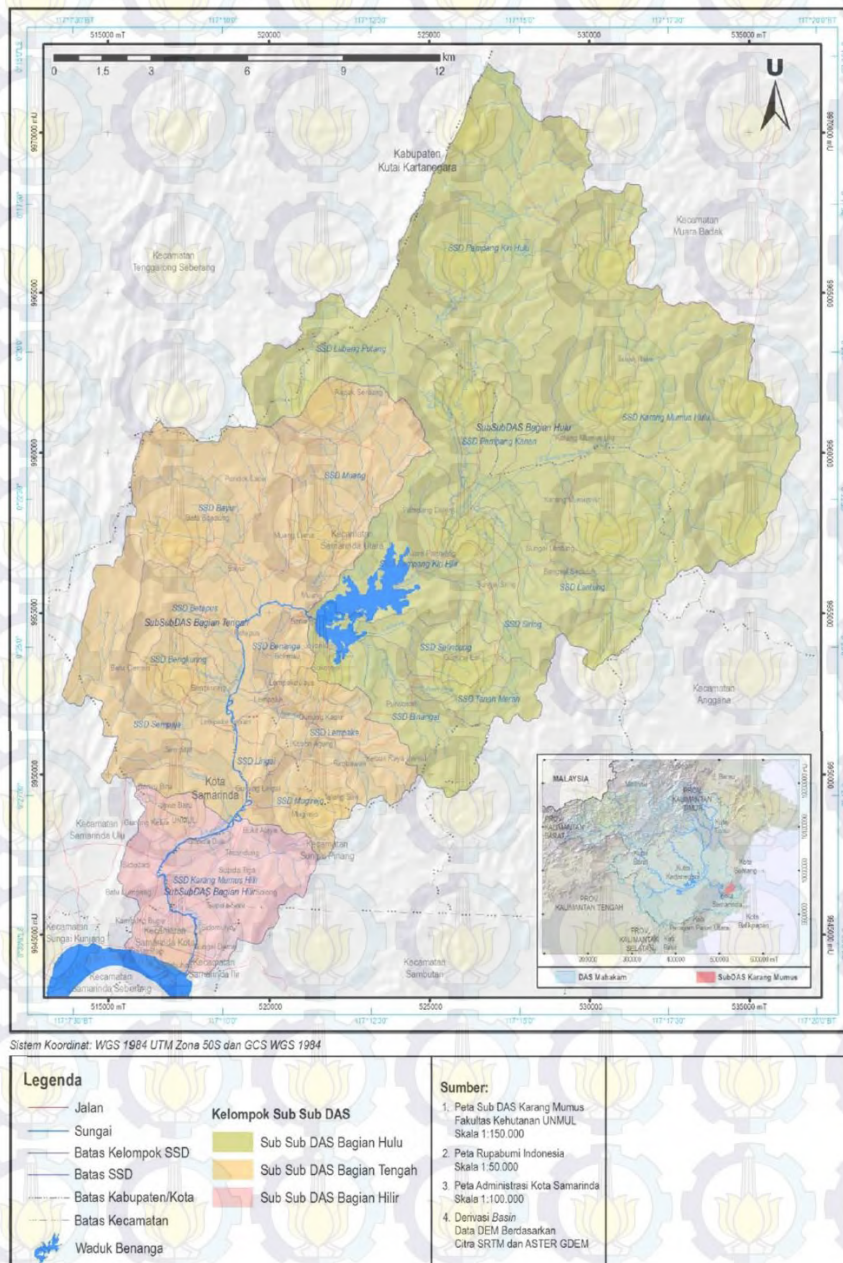
No.	Nama Sub sub DAS	Luas Area		Panjang Sungai (Km)	
		Km ²	%	Utama	Total
Bagian Hulu		190.7	60.31	94.12	282.25
1	SSD Karang Mumus Hulu	69.53	21.99	12.52	97.94
2	SSD Pampang Kiri Hulu	42.29	13.37	21.07	69.96
3	SSD Pampang Kiri Hilir	16.84	5.33	8.79	26.58
4	Pampang Kanan	4.66	1.47	5.13	5.13
5	SSD Lubang Putang	16.00	5.06	11.43	18.07
6	SSD Lantung	12.58	3.98	9.41	20.66
7	SSD Siring	5.62	1.78	6.62	10.72
8	SSD Selindung	5.65	1.79	5.71	10.90
9	SSD Tanah Merah	5.56	1.76	5.68	7.08
10	SSD Binangat	11.99	3.79	7.76	15.22
Bagian Tengah		101.96	32.24	49.00	167.56
11	SSD Muang	19.34	6.12	8.48	34.31
12	SSD Bayur	22.50	7.12	8.00	34.53
13	SSD Benanga	4.85	1.53	3.44	9.42
14	SSD Betapus	9.33	2.95	3.39	9.91
15	SSD Lampake	12.88	4.07	7.58	26.39
16	SSD Bangkuring	4.33	1.37	3.08	7.37
17	SSD Lingai	1.68	0.53	1.54	2.10
18	SSD Mugirejo	6.78	2.14	3.31	8.43
19	SSD Sempaja	20.26	6.41	10.16	25.06
Bagian Hilir		23.56	7.45	6.95	34.84
20	SSD Karang Mumus Hilir	23.56	7.45	6.95	34.84

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Kalimantan Timur

1. Kelompok Sub sub DAS Bagian hulu, dengan luas area 190.70 Km² merupakan daerah tangkapan air hujan. Daerah ini merupakan daerah alami (non perkotaan) dengan tutupan vegetasi yang dominan.
2. Kelompok Sub sub DAS bagian tengah, dengan luas 101,96 Km² merupakan daerah transisi antara perkotaan dan daerah non perkotaan.

Bentuk tutupan lahan cukup bervariasi dari lahan terbangun dan pertanian, hutan serta semak belukar.

3. Kelompok Sub sub DAS bagian hilir, dengan luas 23,56 Km² merupakan daerah perkotaan dengan dominasi lahan terbangun. Daerah dengan sedikit area resapan air, merupakan daerah rawan banjir dan genangan saat terjadi hujan.



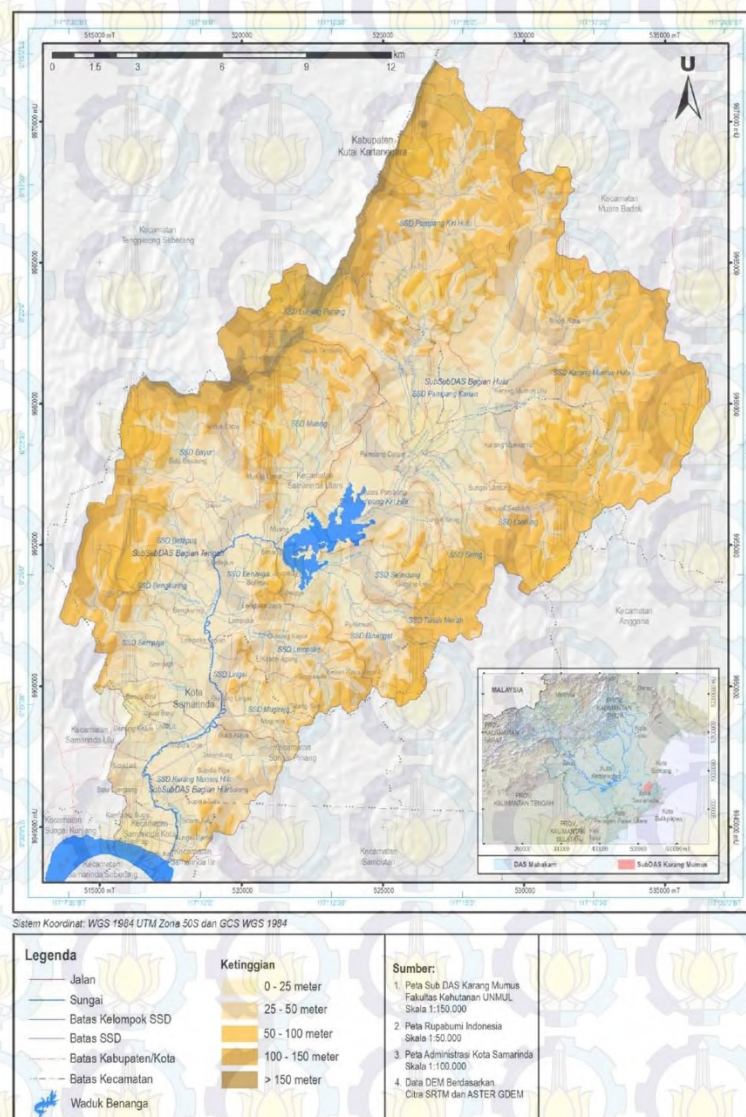
(Sumber : Ramadhani, 2013)

Gambar 4.3 Pembagian Sub sub DAS Karang Mumus

4.2 Tofografi

Secara umum kondisi tofografi Sub DAS Karang Mumus adalah perbukitan dan pada bagian hilir berupa tanah yang datar, disamping itu terdapat daerah rawa seperti pada daerah Pampang Dalam, daerah Gunung Lingai.

Variasi ketinggian pada sub DAS ini berkisar antara 0-225mdpl dan ketinggian rata-rata 45.33mdpl. Berikut proporsi luasan daerah untuk wilayah sub DAS Karang Mumus.



(Sumber : Ramadhani,2013)

Gambar 4.4 Peta Ketinggian pada Sub sub DAS Karang Mumus

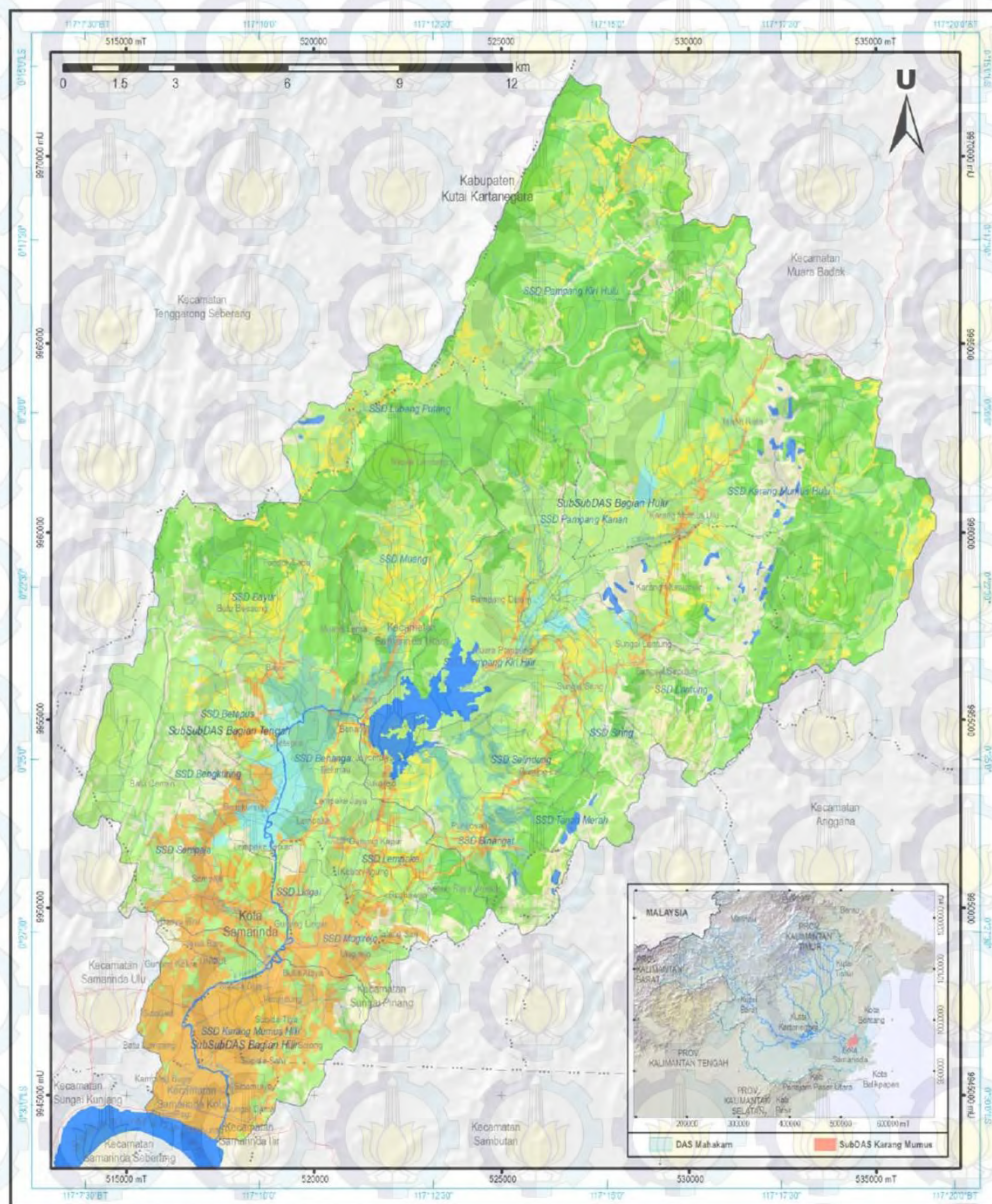
Tabel 4.2 Komposisi Ketinggian Wilayah Sub DAS Karang Mumus

No.	Kelas Ketinggian	Luas Area	
		(Km ²)	%
1	0 – 25 meter	99.64	31.51
2	> 25 – 50 meter	99.02	31.31
3	> 50 – 100 meter	97.64	30.88
4	> 100 – 150 meter	14.47	4.58
5	> 150 meter	5.45	1.72
Total		316.22	100

Sumber : Ramadhani, 2013

4.3 Tutupan Lahan

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ramadhani (2013), tutupan pada Sub DAS Karang Mumus terdiri dari tubuh air, rawa, hutan, semak belukar, pertanian lahan basah, pertanian lahan kering, lahan terbuka dan lahan terbangun. Tutupan lahan tersebut dapat menjelaskan kondisi dari lahan tersebut. Lahan berupa hutan, semak belukar dan rawa menunjukkan kondisi lahan yang masih alami. Lahan tubuh air memiliki penutup air yang dominan, baik alami maupun buatan manusia. Lahan pertanian basah merupakan pertanian dengan tanaman semusim seperti sawah irigasi dan sawah tadah hujan. Lahan pertanian kering merupakan pertanian dengan tanaman tahunan, seperti tegalan, ladang dan kebun campuran. Lahan terbuka merupakan lahan kosong dengan tidak adanya penutup vegetasi (lahan kosong). Lahan terbangun merupakan lahan yang terjadi akibat campur tangan manusia.



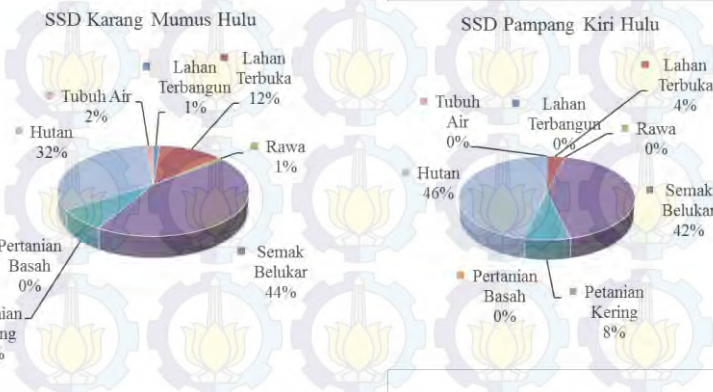
Sistem Koordinat: WGS 1984 UTM Zona 50S dan GCS WGS 1984

Legenda Jalan Sungai Batas Kelompok SSD Batas SSD Batas Kabupaten/Kota Batas Kecamatan Waduk Benanga	Penutupan Lahan Tubuh Air Rawa Hutan Semak Belukar Pertanian Lahan Basah Pertanian Lahan Kering Lahan Terbuka Lahan Terbangun	Sumber: 1. Peta Sub DAS Karang Mumus Fakultas Kehutanan UNMUL Skala 1:150.000 2. Peta Rupabumi Indonesia Skala 1:50.000 3. Peta Administrasi Kota Samarinda Skala 1:100.000 4. Interpretasi Visual Citra Landsat 7 ETM+ Perekaman Tahun 2009
--	--	---

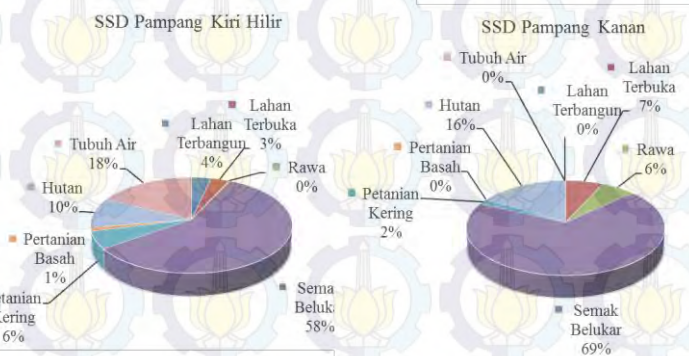
(Sumber : Ramadhani, 2013)

Gambar 4.5 Peta Tutupan Lahan pada Sub sub DAS Karang Mumus

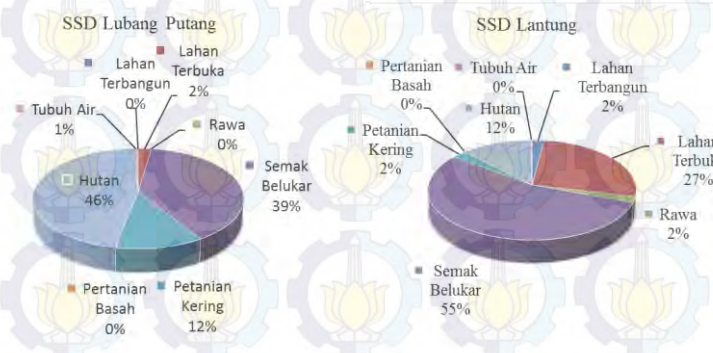
Gambar dibawah ini menunjukkan komposisi tutupan lahan masing-masing Subsub DAS pada Sub DAS Karang Mumus.



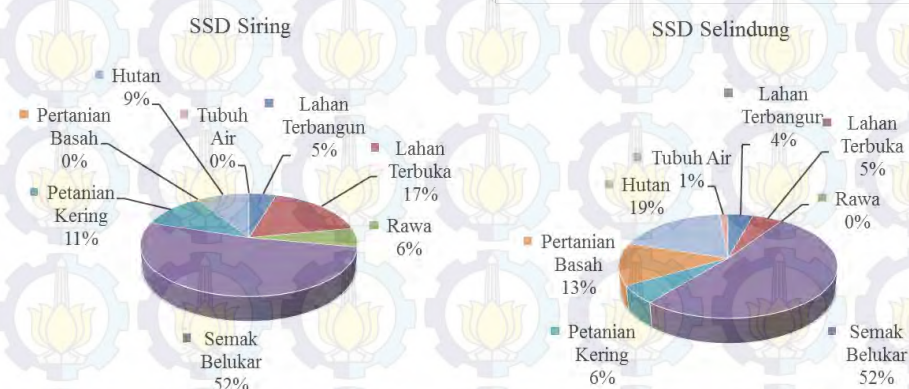
Gambar 4.6 Tutupan Lahan pada SSD Karang Mumus Hulu dan SSD Pampang Kiri Hulu



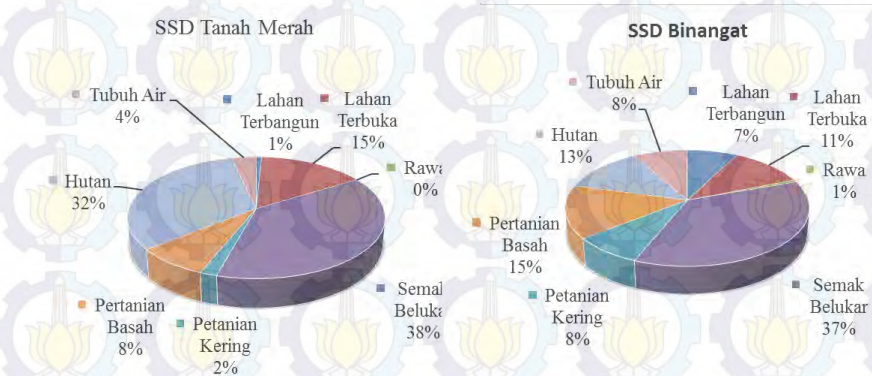
Gambar 4.7 Tutupan Lahan pada SSD Pampang Kiri Hilir dan SSD Pampang Kanan



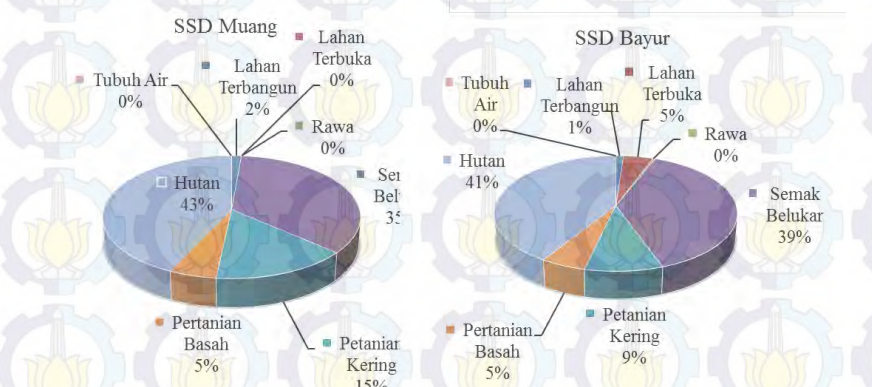
Gambar 4.8 Tutupan Lahan pada SSD Lubang Putang dan SSD Lantung



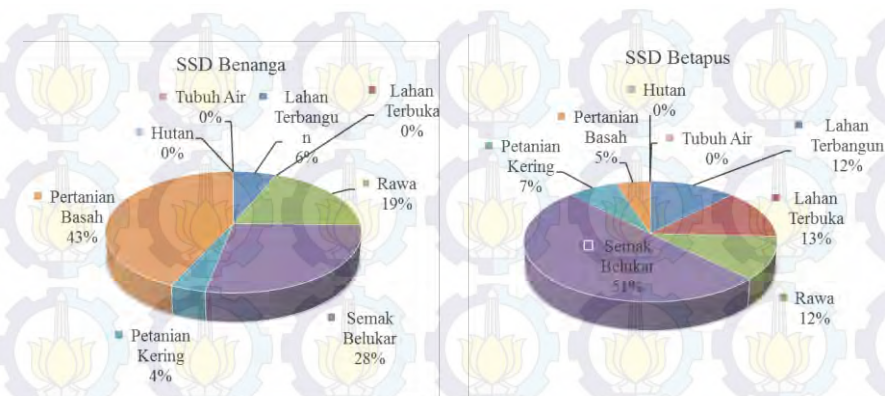
Gambar 4.9 Tutupan Lahan pada SSD Siring dan SSD Selindung



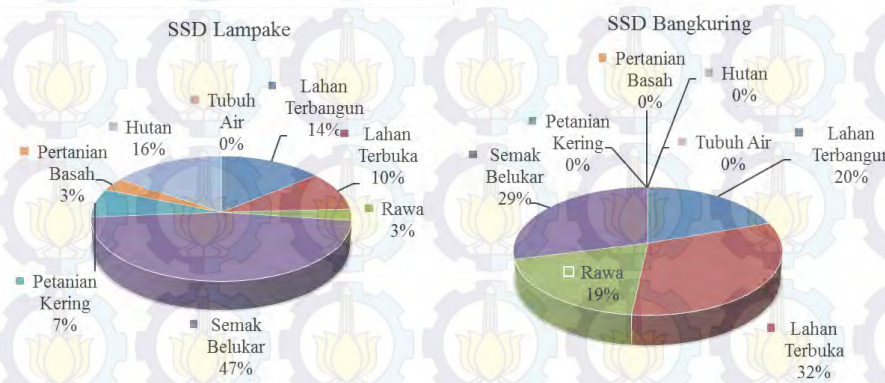
Gambar 4.10 Tutupan Lahan pada SSD Tanah Merah dan SSD Binangat



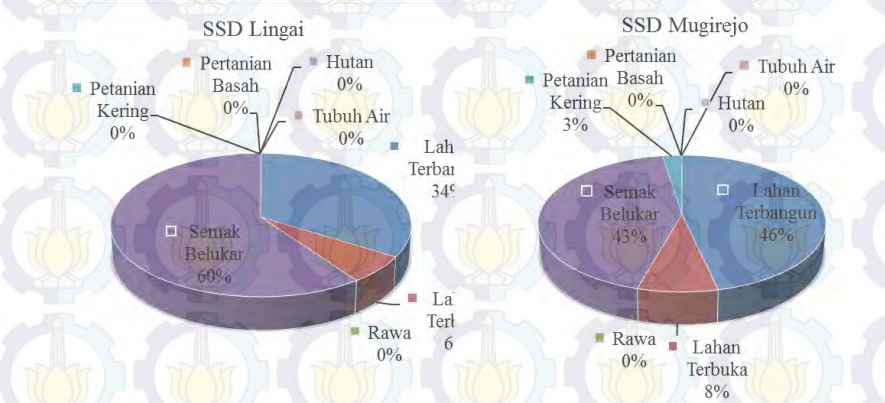
Gambar 4.11 Tutupan Lahan pada SSD Muang dan SSD Bayur



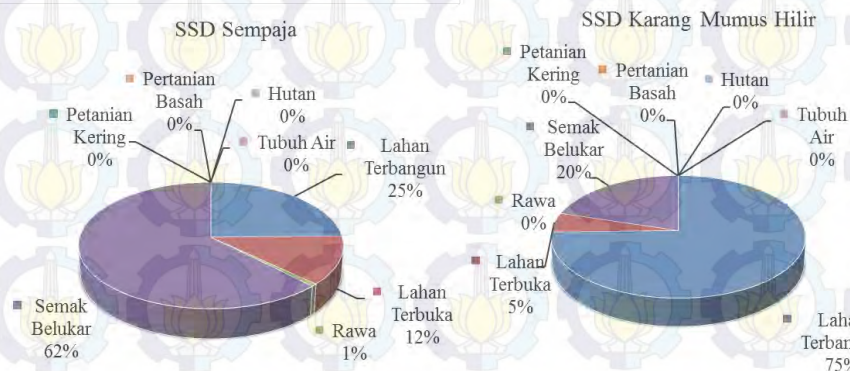
Gambar 4.12 Tutupan Lahan pada SSD Benanga dan SSD Betapus



Gambar 4.13 Tutupan Lahan pada SSD Lempake dan SSD Bangkuring



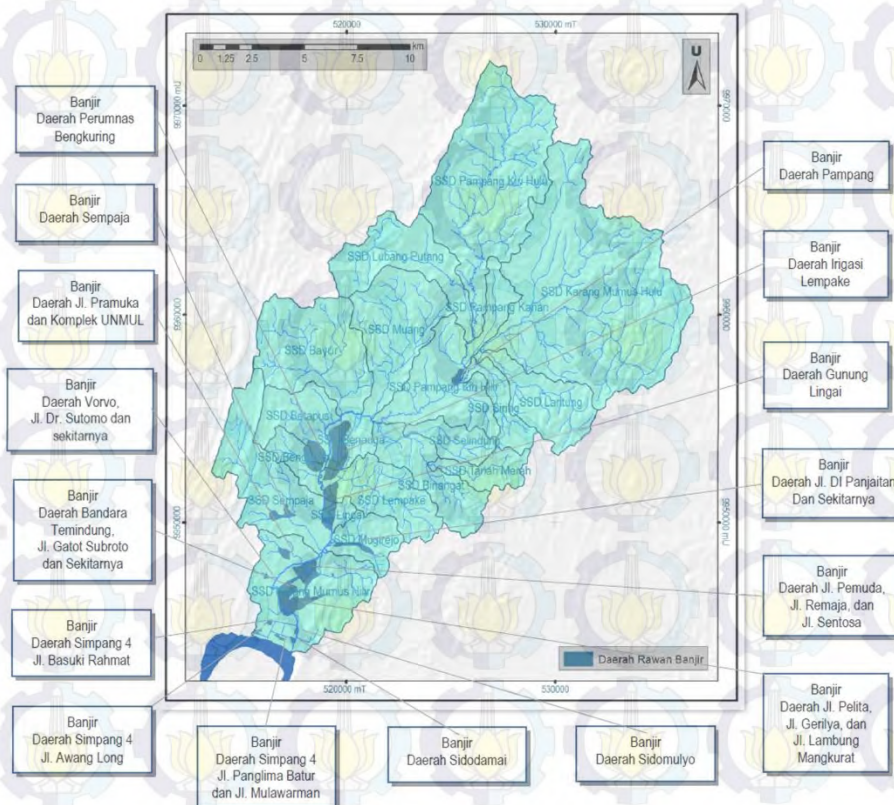
Gambar 4.14 Tutupan Lahan pada SSD Lingai dan SSD Mugirejo



Gambar 4.15 Tutupan Lahan pada SSD Sempaja dan SSD Karang Mumus Hilir

4.4 Kondisi Saat ini

Kondisi yang terjadi saat ini adalah seringkali terjadi banjir di wilayah samarinda dan khusus pada tesis ini, penulis memfokuskan penanganan banjir pada daerah ruas utama Sungai Karang Mumus tepatnya pada bagian setelah outlet Waduk Benanga sampai hilir sungai, yaitu Muara Sungai Karang Mumus.



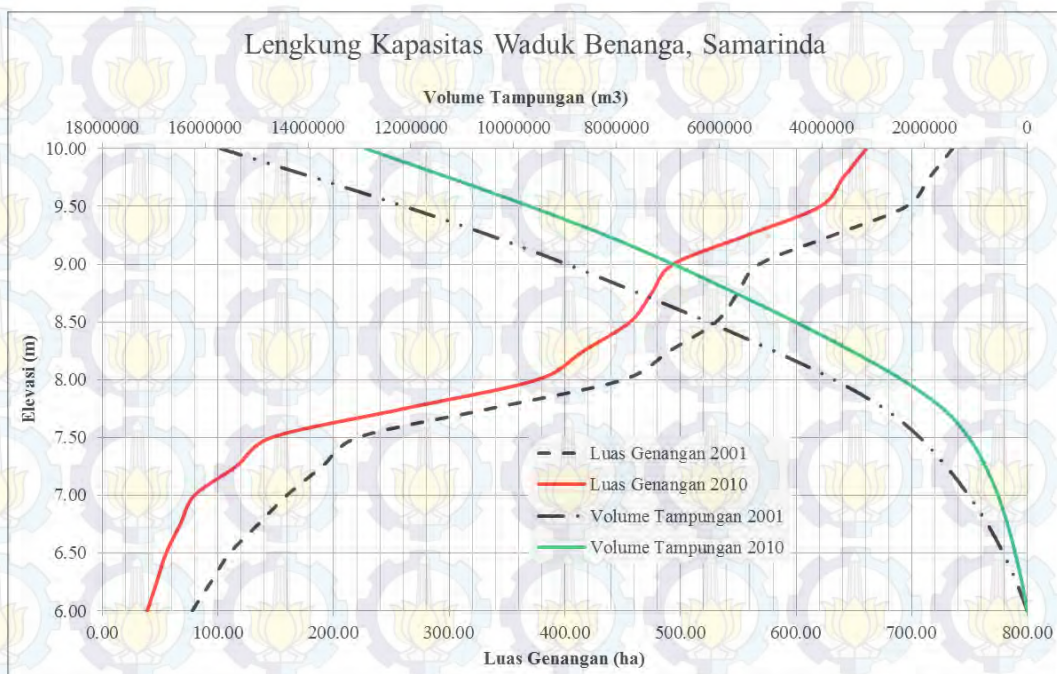
(Sumber : Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Kal-Tim, 2011)

Gambar 4.16 Peta Area Potensi Genangan Banjir pada Sub DAS Karang Mumus

Kondisi sungai Karang Mumus saat ini adalah banyak terjadinya penyempitan-penyempitan penampang sungai yang berpotensi terjadinya banjir akibat kemampuan sungai yang berkurang. Hal ini disebabkan adanya pemukiman-pemukiman yang berada di bantaran sungai dan terjadinya pendangkalan pada dasar sungai.

Untuk mengatasi hal tersebut, pemerintah Kota Samarinda telah melakukan upaya pengendalian banjir dengan membangun Bendungan/Waduk Benanga. Pada awalnya Waduk Benanga digunakan sebagai suplai air Irigasi dan air baku penduduk lokal, namun secara tidak langsung tampungan pada waduk ini memiliki kemampuan untuk mereduksi debit banjir yang masuk kota Samarinda.

Berdasarkan data pengukuran lengkung kapasitas waduk Benanga tahun 2001 dan 2010 yang diperoleh dari BBWS Kalimantan III, diketahui terjadi perubahan kapasitas tampungan, sehingga hal ini perlu ditinjau apakah dengan kondisi tampungan waduk yang berkurang, waduk tersebut masih mampu untuk mereduksi debit banjir yang mengalir.



(Sumber : Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Kal-Tim, 2011)

Gambar 4.17 Peta Area Potensi Genangan Banjir pada Sub DAS Karang Mumus

Selain adanya pengurangan kapasitas waduk, kapasitas sungai dan adanya aliran lateral yang masuk ke ruas sungai utama juga perlu dilakukan peninjauan. Peninjauan dilakukan untuk melihat seberapa besar kemampuan sungai untuk mengalirkan debit yang mengalir dari outlet Waduk dan debit dari aliran-aliran lateral yang masuk ke badan sungai sesuai dengan periode ulang tertentu. Gambar dibawah ini menunjukkan beberapa kondisi pada Sungai Karang Mumus.



(Dokumentasi Pribadi, 2014)

Gambar 4.18 Kondisi eksisting Sungai Karang Mumus (bagian hilir)



(Dokumentasi Pribadi, 2014)

Gambar 4.19 Kondisi eksisting Sungai Karang Mumus (bagian hilir)



(Dokumentasi Penelusuran Sungai Dinas PU Prov. Kaltim, 2014)

Gambar 4.20 Kondisi eksisting Sungai Karang Mumus (bagian hilir)



(Dokumentasi Dinas Bina Marga dan Pengairan Kota Samarinda, 2014)

Gambar 4.21 Banjir Kota Samarinda (bagian hilir)

BAB V

ANALISA

5.1 Analisa Hidrologi

Analisa hidrologi diperlukan dalam perhitungan curah hujan rata-rata dari suatu daerah aliran yang nantinya digunakan untuk mengetahui debit rencana dari masing-masing periode ulang.

Dari beberapa stasiun yang terdapat di daerah sekitar sub DAS Karang Mumus diambil 3 stasiun hujan, yaitu :

1. Sta. Sei Siring (529601 mT, 9959820 mU), berada di jalan utama Kota Samarinda - Kota Bontang, tepat diperbatasan Kota Samarinda dan Kab. Kutai Kartanegara. 529601, 9959820
2. Sta. Pampang (525233 mT, 9956687 mU), berada di daerah Pampang, tepi sungai utama Karang Mumus.
3. Sta. Tanah Merah (525233 mT, 9951816 mU), berada di daerah Tanah Merah, dekat jalan Utama Kota Samarinda – Kota Bontang.

5.1.1 Curah Hujan Rencana

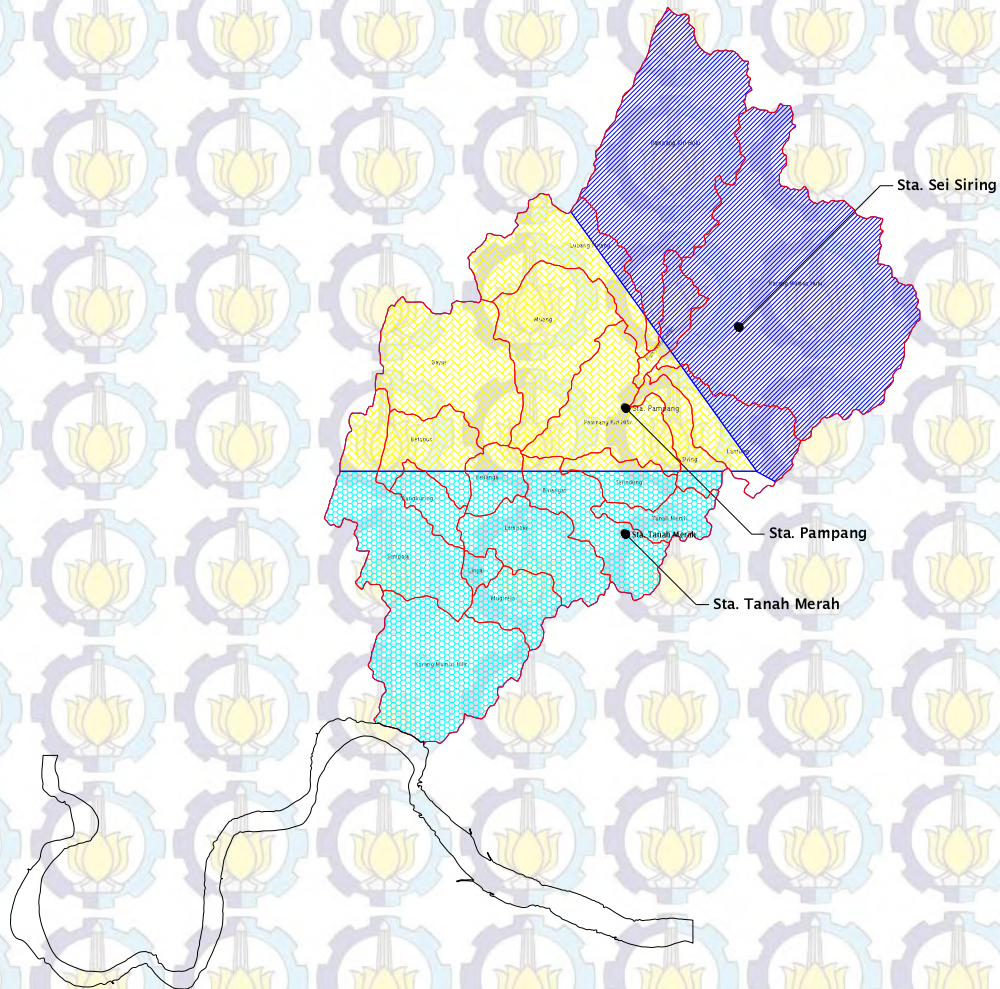
5.1.1.1 Analisa Koefisien Thiessen (C_i)

Perhitungan curah hujan maksimum rata-rata ditentukan pada masing-masing tahun selama 10 tahun (2004-2013). Karena terdapat 3 stasiun hujan, maka terdapat 3 curah hujan harian maksimum rata-rata pada setiap tahun. Pada perhitungan kali ini, digunakan metode Thiessen Polygon. Adapun cara perhitungan metode Thiessen Polygon adalah sebagai berikut :

1. Menghubungkan masing-masing stasiun hujan dengan garis poligon
2. Membuat garis berat antara 2 stasiun hujan hingga bertemu dengan garis besar lainnya pada suatu titik dalam poligon.
3. Luas area yang mewakili masing-masing stasiun hujan dibatasi oleh garis berat pada poligon.

4. Luas sub area masing-masing stasiun hujan dipakai sebagai faktor pemberat dalam perhitungan hujan rata-rata.

Adapun hasil pembuatan poligon pada sub DAS Karang Mumus adalah sebagai berikut :



Gambar 5.1 Pembagian wilayah berdasarkan Poligon Thiessen

Berdasarkan pembagian wilayah poligon Thiessen, maka diperoleh koefisien Thiessen masing-masing sub sub DAS sebagai berikut :

Tabel 5.1 Nilai Koefisien Thiessen Sub Sub DAS Karang Mumus

No.	Nama Sub Sub DAS	Luas Sub Sub DAS	Nilai Koefisien Thiessen (Ci)					
			Area (km ²)	Ci	Area (km ²)	Ci	Area (km ²)	Ci
1	SSD Karang Mumus Hulu	69.53	69.162	0.995	0.364	0.005	0.000	0.000
2	SSD Pampang Kiri Hulu	42.29	41.845	0.989	0.443	0.010	0.000	0.000
3	SSD Pampang Kiri Hilir	16.84	0.081	0.005	16.758	0.995	0.000	0.000
4	SSD Pampang Kanan	4.66	3.715	0.797	0.941	0.202	0.000	0.000
5	SSD Lubang Putang	16	2.764	0.173	13.240	0.828	0.000	0.000
6	SSD Lantung	12.58	7.146	0.568	4.568	0.363	0.862	0.069
7	SSD Siring	5.62	0	0.000	4.298	0.765	1.318	0.235
8	SSD Selindung	5.65	0.000	0.000	1.900	0.336	3.745	0.663
9	SSD Tanah Merah	5.56	0.000	0.000	0.000	0.000	5.560	1.000
10	SSD Binangat	11.99	0.000	0.000	0.851	0.071	11.139	0.929
11	SSD Muang	19.34	0.000	0.000	19.341	1.000	0.000	0.000
12	SSD Bayur	22.5	0.000	0.000	22.500	1.000	0.000	0.000
13	SSD Benanga	4.85	0.000	0.000	1.855	0.382	2.999	0.618
14	SSD Betapus	9.33	0.000	0.000	7.459	0.799	1.874	0.201
15	SSD Lampake	12.88	0.000	0.000	0.000	0.000	12.884	1.000
16	SSD Bangkuring	4.33	0.000	0.000	0.202	0.047	4.124	0.952
17	SSD Lingai	1.68	0.000	0.000	0.000	0.000	1.680	1.000
18	SSD Mugirejo	6.78	0.000	0.000	0.000	0.000	6.777	1.000
19	SSD Sempaja	20.26	0.000	0.000	3.968	0.196	16.294	0.804
20	SSD Karang Mumus Hilir	23.56	0.000	0.000	0.000	0.000	23.559	1.000
Sumber : Hasil Analisa (2014)								

5.1.1.2 Analisis Curah Hujan Maksimum Harian Rata-rata

Analisis curah hujan maksimum harian rata-rata dilakukan secara parsial terhadap masing-masing sub sub DAS, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel-tabel dibawah ini :

Tabel 5.2 Curah Hujan Maksimum Harian Sta. Pampang

Stasiun Hujan Pampang													
No.	Tahun	Bulan											
		Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1	2004	22	21	51	71	74	33	39	0	51	9	60	60
2	2005	59	31	72	41	71	39	77	71.5	74.4	76	76	69
3	2006	49.5	74.6	73.8	38.3	41.1	25.5	24	21	30	10.7	75	57
4	2007	49.8	49.8	60.6	36.2	28.3	78	52.5	16.5	40.2	45.5	78.5	52
5	2008	69.1	58.3	72	37.3	24.5	78.5	35.5	15	10.5	85	71	30
6	2009	30.3	62.3	77.4	80	39.7	39.7	50.8	62.5	29.5	77	80	21.3
7	2010	57.7	36	25	73	54.7	37.7	72.2	49.9	76.8	81.8	49.2	17.3

Stasiun Hujan Pampang													
No.	Tahun	Bulan											
		Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
8	2011	25.7	31.3	23.3	96.4	88.8	51.7	73.9	8.8	34.7	27.7	84.4	52.2
9	2012	50.2	60.2	50.2	73.6	76	77.2	75.9	12.8	74.3	42.5	30.2	30.2
10	2013	75.3	57.6	78.2	76.7	96.1	83.1	81.3	15.4	61.4	41.9	78.2	54.8
Sumber : Hasil Analisa (2014)													

Tabel 5.3 Curah Hujan Maksimum Harian Sta. Sei Siring

Stasiun Hujan Sei Siring													
No	Tahun	Bulan											
		Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1	2004	0	0	0	0	83	56	28	43	45	50	40	96
2	2005	81	69	57	70	62	50	36.7	59.6	50.7	46	47.1	51.6
3	2006	65.5	29.2	99.5	50.7	68.1	46.5	25	12	25	36.9	86.4	58.6
4	2007	65.9	64.5	42.7	56.5	86.1	66.7	50.5	46.9	49.6	70.5	86.7	56.3
5	2008	58.1	65.9	61.7	86	18	76.8	61	46.7	42.6	76.5	82.4	60.9
6	2009	42.1	57.5	65.2	91	43	30.4	46	80.1	21.6	42	74.5	22.5
7	2010	22.5	46.2	54.4	53	24	49	61.7	24.7	36.5	74.5	46.6	82.3
8	2011	93.4	29	41.9	86.6	41.2	39.2	40.3	18.2	30	33.7	92.8	45.3
9	2012	24.6	42.4	50.8	51.6	45.6	51.4	15.1	24.5	20	53.9	53.6	41.6
10	2013	81.5	44.2	93.5	50.7	128.5	44	43.5	16.5	25	84	65	58
Sumber : Hasil Analisa (2014)													

Tabel 5.4 Curah Hujan Maksimum Harian Sta. Tanah Merah

Stasiun Hujan Tanah Merah													
No	Tahun	Bulan											
		Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1	2004	0	0	0	0	83	56	28	43	45	50	40	96
2	2005	81	69	57	70	62	50	36.7	59.6	50.7	46	47.1	51.6
3	2006	65.5	29.2	99.5	50.7	68.1	46.5	25	12	25	36.9	86.4	58.6
4	2007	65.9	64.5	42.7	56.5	86.1	66.7	50.5	46.9	49.6	70.5	86.7	56.3
5	2008	58.1	65.9	61.7	86	18	76.8	61	46.7	42.6	76.5	82.4	60.9
6	2009	42.1	57.5	65.2	91	43	30.4	46	80.1	21.6	42	74.5	22.5
7	2010	22.5	46.2	54.4	53	24	49	61.7	24.7	36.5	74.5	46.6	82.3
8	2011	93.4	29	41.9	86.6	41.2	39.2	40.3	18.2	30	33.7	92.8	45.3
9	2012	24.6	42.4	50.8	51.6	45.6	51.4	15.1	24.5	20	53.9	53.6	41.6
10	2013	81.5	44.2	93.5	50.7	128.5	44	43.5	16.5	25	84	65	58
Sumber : Hasil Analisa (2014)													

Tabel 5.5 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Karang Mumus Hulu

SSD Karang Mumus Hulu									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 69.53 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.995	74.00	0.005	91.00	0.000	0.39	95.49
2	3 Des ,04	96.00	0.995	0.00	0.005	0.00	0.000	95.49	
3	12 April ,04	0.00	0.995	0.00	0.005	112.00	0.000	0.00	
4	7 Juli ,05	36.70	0.995	77.00	0.005	31.50	0.000	36.91	80.57
5	28 Jan ,05	81.00	0.995	0.00	0.005	14.00	0.000	80.57	
6	3 Okt ,05	28.00	0.995	68.00	0.005	118.90	0.000	28.21	
7	4 Nop ,06	14.00	0.995	75.00	0.005	14.00	0.000	14.32	99.36
8	25 Maret ,06	99.50	0.995	74.00	0.005	15.00	0.000	99.36	
9	24 Maret ,06	0.00	0.995	0.00	0.005	71.10	0.000	0.00	
10	6 Nop ,07	10.00	0.995	78.50	0.005	57.00	0.000	10.36	86.66
11	10 Nop ,07	86.70	0.995	79.00	0.005	61.00	0.000	86.66	
12	11 Mei ,07	86.00	0.995	0.00	0.005	100.10	0.000	85.55	
13	10 Okt ,08	47.50	0.995	85.00	0.005	0.00	0.000	47.69	85.72
14	22 April ,08	86.00	0.995	33.50	0.005	0.90	0.000	85.72	
15	4 Juni ,08	0.80	0.995	3.00	0.005	63.90	0.000	0.81	
16	28 Nop ,09	52.60	0.995	80.00	0.005	11.80	0.000	52.74	90.52
17	16 April ,09	91.00	0.995	0.00	0.005	48.50	0.000	90.52	
18	24 Okt ,09	20.60	0.995	52.00	0.005	53.90	0.000	20.76	
19	28 Okt ,10	59.60	0.995	81.80	0.005	7.00	0.000	59.71	81.86
20	17 Des ,10	82.30	0.995	0.00	0.005	0.00	0.000	81.86	
21	31 Maret ,10	12.00	0.995	0.00	0.005	90.30	0.000	11.94	
22	24 April ,11	6.30	0.995	96.40	0.005	2.50	0.000	6.77	92.91
23	5 Jan ,11	93.40	0.995	0.00	0.005	14.70	0.000	92.91	
24	31 Maret ,11	0.00	0.995	0.00	0.005	90.30	0.000	0.00	
25	10 Juni ,12	0.20	0.995	77.20	0.005	8.00	0.000	0.60	53.37
26	24 Okt ,12	53.60	0.995	10.00	0.005	1.00	0.000	53.37	
27	6 Juli ,12	15.10	0.995	11.10	0.005	67.50	0.000	15.08	
28	3 Mei ,13	0.00	0.995	96.10	0.005	0.50	0.000	0.50	127.82
29	18 Mei ,13	128.50	0.995	0.00	0.005	2.50	0.000	127.82	
30	19 Sept ,13	0.00	0.995	0.00	0.005	115.70	0.000	0.00	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.6 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Pampang Kiri Hulu

SSD Pampang Kiri Hulu									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 42.29 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.989	74.00	0.010	91.00	0.000	0.78	94.99
2	3 Des ,04	96.00	0.989	0.00	0.010	0.00	0.000	94.99	
3	12 April ,04	0.00	0.989	0.00	0.010	112.00	0.000	0.00	
4	7 Juli ,05	36.70	0.989	77.00	0.010	31.50	0.000	37.12	80.15
5	28 Jan ,05	81.00	0.989	0.00	0.010	14.00	0.000	80.15	

SSD Pampang Kiri Hulu									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
6	3 Okt ,05	28.00	0.989	68.00	0.010	118.90	0.000	28.42	99.23
7	4 Nop ,06	14.00	0.989	75.00	0.010	14.00	0.000	14.64	
8	25 Maret ,06	99.50	0.989	74.00	0.010	15.00	0.000	99.23	
9	24 Maret ,06	0.00	0.989	0.00	0.010	71.10	0.000	0.00	
10	6 Nop ,07	10.00	0.989	78.50	0.010	57.00	0.000	10.72	86.62
11	10 Nop ,07	86.70	0.989	79.00	0.010	61.00	0.000	86.62	
12	11 Mei ,07	86.00	0.989	0.00	0.010	100.10	0.000	85.10	
13	10 Okt ,08	47.50	0.989	85.00	0.010	0.00	0.000	47.89	
14	22 April ,08	86.00	0.989	33.50	0.010	0.90	0.000	85.45	85.45
15	4 Juni ,08	0.80	0.989	3.00	0.010	63.90	0.000	0.82	
16	28 Nop ,09	52.60	0.989	80.00	0.010	11.80	0.000	52.88	
17	16 April ,09	91.00	0.989	0.00	0.010	48.50	0.000	90.04	
18	24 Okt ,09	20.60	0.989	52.00	0.010	53.90	0.000	20.93	90.04
19	28 Okt ,10	59.60	0.989	81.80	0.010	7.00	0.000	59.83	
20	17 Des ,10	82.30	0.989	0.00	0.010	0.00	0.000	59.83	
21	31 Maret ,10	12.00	0.989	0.00	0.010	90.30	0.000	59.83	
22	24 April ,11	6.30	0.989	96.40	0.010	2.50	0.000	7.24	81.43
23	5 Jan ,11	93.40	0.989	0.00	0.010	14.70	0.000	81.43	
24	31 Maret ,11	0.00	0.989	0.00	0.010	90.30	0.000	81.43	
25	10 Juni ,12	0.20	0.989	77.20	0.010	8.00	0.000	81.43	
26	24 Okt ,12	53.60	0.989	10.00	0.010	1.00	0.000	11.87	92.42
27	6 Juli ,12	15.10	0.989	11.10	0.010	67.50	0.000	11.87	
28	3 Mei ,13	0.00	0.989	96.10	0.010	0.50	0.000	11.87	
29	18 Mei ,13	128.50	0.989	0.00	0.010	2.50	0.000	11.87	
30	19 Sept ,13	0.00	0.989	0.00	0.010	115.70	0.000	0.00	53.14
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.7 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Pampang Kiri Hilir

SSD Pampang Kiri Hilir									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata- rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 16.84 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.005	74.00	0.995	91.00	0.000	73.64	73.64
2	3 Des ,04	96.00	0.005	0.00	0.995	0.00	0.000	0.46	
3	12 April ,04	0.00	0.005	0.00	0.995	112.00	0.000	0.00	
4	7 Juli ,05	36.70	0.005	77.00	0.995	31.50	0.000	76.80	76.80
5	28 Jan ,05	81.00	0.005	0.00	0.995	14.00	0.000	0.39	
6	3 Okt ,05	28.00	0.005	68.00	0.995	118.90	0.000	67.80	
7	4 Nop ,06	14.00	0.005	75.00	0.995	14.00	0.000	74.70	74.70
8	25 Maret ,06	99.50	0.005	74.00	0.995	15.00	0.000	74.12	
9	24 Maret ,06	0.00	0.005	0.00	0.995	71.10	0.000	0.00	
10	6 Nop ,07	10.00	0.005	78.50	0.995	57.00	0.000	78.17	79.03
11	10 Nop ,07	86.70	0.005	79.00	0.995	61.00	0.000	79.03	
12	11 Mei ,07	86.00	0.005	0.00	0.995	100.10	0.000	0.41	
13	10 Okt ,08	47.50	0.005	85.00	0.995	0.00	0.000	84.82	84.82
14	22 April ,08	86.00	0.005	33.50	0.995	0.90	0.000	33.75	
15	4 Juni ,08	0.80	0.005	3.00	0.995	63.90	0.000	2.99	

SSD Pampang Kiri Hilir									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata- rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
16	28 Nop ,09	52.60	0.005	80.00	0.995	11.80	0.000	79.86	79.86
17	16 April ,09	91.00	0.005	0.00	0.995	48.50	0.000	0.44	
18	24 Okt ,09	20.60	0.005	52.00	0.995	53.90	0.000	51.85	
19	28 Okt ,10	59.60	0.005	81.80	0.995	7.00	0.000	81.69	81.69
20	17 Des ,10	82.30	0.005	0.00	0.995	0.00	0.000	0.39	
21	31 Maret ,10	12.00	0.005	0.00	0.995	90.30	0.000	0.06	
22	24 April ,11	6.30	0.005	96.40	0.995	2.50	0.000	95.96	95.96
23	5 Jan ,11	93.40	0.005	0.00	0.995	14.70	0.000	0.45	
24	31 Maret ,11	0.00	0.005	0.00	0.995	90.30	0.000	0.00	
25	10 Juni ,12	0.20	0.005	77.20	0.995	8.00	0.000	76.83	76.83
26	24 Okt ,12	53.60	0.005	10.00	0.995	1.00	0.000	10.21	
27	6 Juli ,12	15.10	0.005	11.10	0.995	67.50	0.000	11.12	
28	3 Mei ,13	0.00	0.005	96.10	0.995	0.50	0.000	95.63	95.63
29	18 Mei ,13	128.50	0.005	0.00	0.995	2.50	0.000	0.62	
30	19 Sept ,13	0.00	0.005	0.00	0.995	115.70	0.000	0.00	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.8 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Pampang Kanan

SSD Pampang Kanan									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata- rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 4.66 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.797	74.00	0.202	91.00	0.000	14.95	76.54
2	3 Des ,04	96.00	0.797	0.00	0.202	0.00	0.000	76.54	
3	12 April ,04	0.00	0.797	0.00	0.202	112.00	0.000	0.00	
4	7 Juli ,05	36.70	0.797	77.00	0.202	31.50	0.000	44.82	64.58
5	28 Jan ,05	81.00	0.797	0.00	0.202	14.00	0.000	64.58	
6	3 Okt ,05	28.00	0.797	68.00	0.202	118.90	0.000	36.06	
7	4 Nop ,06	14.00	0.797	75.00	0.202	14.00	0.000	26.31	94.28
8	25 Maret ,06	99.50	0.797	74.00	0.202	15.00	0.000	94.28	
9	24 Maret ,06	0.00	0.797	0.00	0.202	71.10	0.000	0.00	
10	6 Nop ,07	10.00	0.797	78.50	0.202	57.00	0.000	23.83	85.08
11	10 Nop ,07	86.70	0.797	79.00	0.202	61.00	0.000	85.08	
12	11 Mei ,07	86.00	0.797	0.00	0.202	100.10	0.000	68.57	
13	10 Okt ,08	47.50	0.797	85.00	0.202	0.00	0.000	55.04	75.33
14	22 April ,08	86.00	0.797	33.50	0.202	0.90	0.000	75.33	
15	4 Juni ,08	0.80	0.797	3.00	0.202	63.90	0.000	1.24	
16	28 Nop ,09	52.60	0.797	80.00	0.202	11.80	0.000	58.10	72.55
17	16 April ,09	91.00	0.797	0.00	0.202	48.50	0.000	72.55	
18	24 Okt ,09	20.60	0.797	52.00	0.202	53.90	0.000	26.93	
19	28 Okt ,10	59.60	0.797	81.80	0.202	7.00	0.000	64.04	65.62
20	17 Des ,10	82.30	0.797	0.00	0.202	0.00	0.000	65.62	
21	31 Maret ,10	12.00	0.797	0.00	0.202	90.30	0.000	9.57	
22	24 April ,11	6.30	0.797	96.40	0.202	2.50	0.000	24.50	74.47
23	5 Jan ,11	93.40	0.797	0.00	0.202	14.70	0.000	74.47	
24	31 Maret ,11	0.00	0.797	0.00	0.202	90.30	0.000	0.00	
25	10 Juni ,12	0.20	0.797	77.20	0.202	8.00	0.000	15.76	44.75

SSD Pampang Kanan									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
26	24 Okt ,12	53.60	0.797	10.00	0.202	1.00	0.000	44.75	102.45
27	6 Juli ,12	15.10	0.797	11.10	0.202	67.50	0.000	14.28	
28	3 Mei ,13	0.00	0.797	96.10	0.202	0.50	0.000	19.41	
29	18 Mei ,13	128.50	0.797	0.00	0.202	2.50	0.000	102.45	
30	19 Sept ,13	0.00	0.797	0.00	0.202	115.70	0.000	0.00	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.9 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Lubang Patung

SSD Lubang Patung									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 16 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.173	74.00	0.828	91.00	0.000	61.24	61.24
2	3 Des ,04	96.00	0.173	0.00	0.828	0.00	0.000	16.58	
3	12 April ,04	0.00	0.173	0.00	0.828	112.00	0.000	0.00	
4	7 Juli ,05	36.70	0.173	77.00	0.828	31.50	0.000	70.06	70.06
5	28 Jan ,05	81.00	0.173	0.00	0.828	14.00	0.000	13.99	
6	3 Okt ,05	28.00	0.173	68.00	0.828	118.90	0.000	61.11	
7	4 Nop ,06	14.00	0.173	75.00	0.828	14.00	0.000	64.48	78.43
8	25 Maret ,06	99.50	0.173	74.00	0.828	15.00	0.000	78.43	
9	24 Maret ,06	0.00	0.173	0.00	0.828	71.10	0.000	0.00	
10	6 Nop ,07	10.00	0.173	78.50	0.828	57.00	0.000	66.69	80.35
11	10 Nop ,07	86.70	0.173	79.00	0.828	61.00	0.000	80.35	
12	11 Mei ,07	86.00	0.173	0.00	0.828	100.10	0.000	14.86	
13	10 Okt ,08	47.50	0.173	85.00	0.828	0.00	0.000	78.55	78.55
14	22 April ,08	86.00	0.173	33.50	0.828	0.90	0.000	42.58	
15	4 Juni ,08	0.80	0.173	3.00	0.828	63.90	0.000	2.62	
16	28 Nop ,09	52.60	0.173	80.00	0.828	11.80	0.000	75.29	75.29
17	16 April ,09	91.00	0.173	0.00	0.828	48.50	0.000	15.72	
18	24 Okt ,09	20.60	0.173	52.00	0.828	53.90	0.000	46.59	
19	28 Okt ,10	59.60	0.173	81.80	0.828	7.00	0.000	77.99	77.99
20	17 Des ,10	82.30	0.173	0.00	0.828	0.00	0.000	14.22	
21	31 Maret ,10	12.00	0.173	0.00	0.828	90.30	0.000	2.07	
22	24 April ,11	6.30	0.173	96.40	0.828	2.50	0.000	80.86	80.86
23	5 Jan ,11	93.40	0.173	0.00	0.828	14.70	0.000	16.14	
24	31 Maret ,11	0.00	0.173	0.00	0.828	90.30	0.000	0.00	
25	10 Juni ,12	0.20	0.173	77.20	0.828	8.00	0.000	63.92	63.92
26	24 Okt ,12	53.60	0.173	10.00	0.828	1.00	0.000	17.53	
27	6 Juli ,12	15.10	0.173	11.10	0.828	67.50	0.000	11.79	
28	3 Mei ,13	0.00	0.173	96.10	0.828	0.50	0.000	79.52	79.52
29	18 Mei ,13	128.50	0.173	0.00	0.828	2.50	0.000	22.20	
30	19 Sept ,13	0.00	0.173	0.00	0.828	115.70	0.000	0.00	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.10 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Lantung

SSD Lantung									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 12.58 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.568	74.00	0.363	91.00	0.069	33.11	54.53
2	3 Des ,04	96.00	0.568	0.00	0.363	0.00	0.069	54.53	
3	12 April ,04	0.00	0.568	0.00	0.363	112.00	0.069	7.68	
4	7 Juli ,05	36.70	0.568	77.00	0.363	31.50	0.069	50.97	50.97
5	28 Jan ,05	81.00	0.568	0.00	0.363	14.00	0.069	46.97	
6	3 Okt ,05	28.00	0.568	68.00	0.363	118.90	0.069	48.75	
7	4 Nop ,06	14.00	0.568	75.00	0.363	14.00	0.069	36.15	84.42
8	25 Maret ,06	99.50	0.568	74.00	0.363	15.00	0.069	84.42	
9	24 Maret ,06	0.00	0.568	0.00	0.363	71.10	0.069	4.87	
10	6 Nop ,07	10.00	0.568	78.50	0.363	57.00	0.069	38.09	82.12
11	10 Nop ,07	86.70	0.568	79.00	0.363	61.00	0.069	82.12	
12	11 Mei ,07	86.00	0.568	0.00	0.363	100.10	0.069	55.71	
13	10 Okt ,08	47.50	0.568	85.00	0.363	0.00	0.069	57.85	61.08
14	22 April ,08	86.00	0.568	33.50	0.363	0.90	0.069	61.08	
15	4 Juni ,08	0.80	0.568	3.00	0.363	63.90	0.069	5.92	
16	28 Nop ,09	52.60	0.568	80.00	0.363	11.80	0.069	59.74	59.74
17	16 April ,09	91.00	0.568	0.00	0.363	48.50	0.069	55.02	
18	24 Okt ,09	20.60	0.568	52.00	0.363	53.90	0.069	34.28	
19	28 Okt ,10	59.60	0.568	81.80	0.363	7.00	0.069	64.04	64.04
20	17 Des ,10	82.30	0.568	0.00	0.363	0.00	0.069	46.75	
21	31 Maret ,10	12.00	0.568	0.00	0.363	90.30	0.069	13.01	
22	24 April ,11	6.30	0.568	96.40	0.363	2.50	0.069	38.75	54.06
23	5 Jan ,11	93.40	0.568	0.00	0.363	14.70	0.069	54.06	
24	31 Maret ,11	0.00	0.568	0.00	0.363	90.30	0.069	6.19	
25	10 Juni ,12	0.20	0.568	77.20	0.363	8.00	0.069	28.69	34.15
26	24 Okt ,12	53.60	0.568	10.00	0.363	1.00	0.069	34.15	
27	6 Juli ,12	15.10	0.568	11.10	0.363	67.50	0.069	17.23	
28	3 Mei ,13	0.00	0.568	96.10	0.363	0.50	0.069	34.93	73.16
29	18 Mei ,13	128.50	0.568	0.00	0.363	2.50	0.069	73.16	
30	19 Sept ,13	0.00	0.568	0.00	0.363	115.70	0.069	7.93	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.11 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Siring

SSD Siring									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata- rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 5.62 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.000	74.00	0.765	91.00	0.235	77.94	77.94
2	3 Des ,04	96.00	0.000	0.00	0.765	0.00	0.235	0.00	
3	12 April ,04	0.00	0.000	0.00	0.765	112.00	0.235	26.27	
4	7 Juli ,05	36.70	0.000	77.00	0.765	31.50	0.235	66.28	79.90
5	28 Jan ,05	81.00	0.000	0.00	0.765	14.00	0.235	3.28	

SSD Siring									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
6	3 Okt ,05	28.00	0.000	68.00	0.765	118.90	0.235	79.90	60.65
7	4 Nop ,06	14.00	0.000	75.00	0.765	14.00	0.235	60.65	
8	25 Maret ,06	99.50	0.000	74.00	0.765	15.00	0.235	60.12	
9	24 Maret ,06	0.00	0.000	0.00	0.765	71.10	0.235	16.68	
10	6 Nop ,07	10.00	0.000	78.50	0.765	57.00	0.235	73.41	74.73
11	10 Nop ,07	86.70	0.000	79.00	0.765	61.00	0.235	74.73	
12	11 Mei ,07	86.00	0.000	0.00	0.765	100.10	0.235	23.48	
13	10 Okt ,08	47.50	0.000	85.00	0.765	0.00	0.235	65.01	
14	22 April ,08	86.00	0.000	33.50	0.765	0.90	0.235	25.83	65.01
15	4 Juni ,08	0.80	0.000	3.00	0.765	63.90	0.235	17.28	
16	28 Nop ,09	52.60	0.000	80.00	0.765	11.80	0.235	63.95	
17	16 April ,09	91.00	0.000	0.00	0.765	48.50	0.235	11.38	
18	24 Okt ,09	20.60	0.000	52.00	0.765	53.90	0.235	52.41	63.95
19	28 Okt ,10	59.60	0.000	81.80	0.765	7.00	0.235	64.20	
20	17 Des ,10	82.30	0.000	0.00	0.765	0.00	0.235	0.00	
21	31 Maret ,10	12.00	0.000	0.00	0.765	90.30	0.235	21.18	
22	24 April ,11	6.30	0.000	96.40	0.765	2.50	0.235	74.31	74.31
23	5 Jan ,11	93.40	0.000	0.00	0.765	14.70	0.235	3.45	
24	31 Maret ,11	0.00	0.000	0.00	0.765	90.30	0.235	21.18	
25	10 Juni ,12	0.20	0.000	77.20	0.765	8.00	0.235	60.92	
26	24 Okt ,12	53.60	0.000	10.00	0.765	1.00	0.235	7.88	60.92
27	6 Juli ,12	15.10	0.000	11.10	0.765	67.50	0.235	24.32	
28	3 Mei ,13	0.00	0.000	96.10	0.765	0.50	0.235	73.62	
29	18 Mei ,13	128.50	0.000	0.00	0.765	2.50	0.235	0.59	
30	19 Sept ,13	0.00	0.000	0.00	0.765	115.70	0.235	27.14	73.62
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.12 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Selindung

SSD Selindung									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 5.65 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.000	74.00	0.336	91.00	0.663	85.20	85.20
2	3 Des ,04	96.00	0.000	0.00	0.336	0.00	0.663	0.00	
3	12 April ,04	0.00	0.000	0.00	0.336	112.00	0.663	74.24	
4	7 Juli ,05	36.70	0.000	77.00	0.336	31.50	0.663	46.77	
5	28 Jan ,05	81.00	0.000	0.00	0.336	14.00	0.663	9.28	101.68
6	3 Okt ,05	28.00	0.000	68.00	0.336	118.90	0.663	101.68	
7	4 Nop ,06	14.00	0.000	75.00	0.336	14.00	0.663	34.50	
8	25 Maret ,06	99.50	0.000	74.00	0.336	15.00	0.663	34.83	
9	24 Maret ,06	0.00	0.000	0.00	0.336	71.10	0.663	47.13	47.13
10	6 Nop ,07	10.00	0.000	78.50	0.336	57.00	0.663	64.18	
11	10 Nop ,07	86.70	0.000	79.00	0.336	61.00	0.663	67.00	
12	11 Mei ,07	86.00	0.000	0.00	0.336	100.10	0.663	66.35	
13	10 Okt ,08	47.50	0.000	85.00	0.336	0.00	0.663	28.59	43.36
14	22 April ,08	86.00	0.000	33.50	0.336	0.90	0.663	11.86	
15	4 Juni ,08	0.80	0.000	3.00	0.336	63.90	0.663	43.36	

SSD Selindung									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
16	28 Nop ,09	52.60	0.000	80.00	0.336	11.80	0.663	34.73	53.21
17	16 April ,09	91.00	0.000	0.00	0.336	48.50	0.663	32.15	
18	24 Okt ,09	20.60	0.000	52.00	0.336	53.90	0.663	53.21	
19	28 Okt ,10	59.60	0.000	81.80	0.336	7.00	0.663	32.15	59.85
20	17 Des ,10	82.30	0.000	0.00	0.336	0.00	0.663	0.00	
21	31 Maret ,10	12.00	0.000	0.00	0.336	90.30	0.663	59.85	
22	24 April ,11	6.30	0.000	96.40	0.336	2.50	0.663	34.08	59.85
23	5 Jan ,11	93.40	0.000	0.00	0.336	14.70	0.663	9.74	
24	31 Maret ,11	0.00	0.000	0.00	0.336	90.30	0.663	59.85	
25	10 Juni ,12	0.20	0.000	77.20	0.336	8.00	0.663	31.26	48.47
26	24 Okt ,12	53.60	0.000	10.00	0.336	1.00	0.663	4.03	
27	6 Juli ,12	15.10	0.000	11.10	0.336	67.50	0.663	48.47	
28	3 Mei ,13	0.00	0.000	96.10	0.336	0.50	0.663	32.65	76.69
29	18 Mei ,13	128.50	0.000	0.00	0.336	2.50	0.663	1.66	
30	19 Sept ,13	0.00	0.000	0.00	0.336	115.70	0.663	76.69	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.13 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Tanah Merah

SSD Tanah Merah									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 5.56 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.000	74.00	0.000	91.00	1.000	90.99	111.99
2	3 Des ,04	96.00	0.000	0.00	0.000	0.00	1.000	0.00	
3	12 April ,04	0.00	0.000	0.00	0.000	112.00	1.000	111.99	
4	7 Juli ,05	36.70	0.000	77.00	0.000	31.50	1.000	31.50	118.89
5	28 Jan ,05	81.00	0.000	0.00	0.000	14.00	1.000	14.00	
6	3 Okt ,05	28.00	0.000	68.00	0.000	118.90	1.000	118.89	
7	4 Nop ,06	14.00	0.000	75.00	0.000	14.00	1.000	14.00	71.10
8	25 Maret ,06	99.50	0.000	74.00	0.000	15.00	1.000	15.00	
9	24 Maret ,06	0.00	0.000	0.00	0.000	71.10	1.000	71.10	
10	6 Nop ,07	10.00	0.000	78.50	0.000	57.00	1.000	57.00	100.09
11	10 Nop ,07	86.70	0.000	79.00	0.000	61.00	1.000	61.00	
12	11 Mei ,07	86.00	0.000	0.00	0.000	100.10	1.000	100.09	
13	10 Okt ,08	47.50	0.000	85.00	0.000	0.00	1.000	0.00	63.90
14	22 April ,08	86.00	0.000	33.50	0.000	0.90	1.000	0.90	
15	4 Juni ,08	0.80	0.000	3.00	0.000	63.90	1.000	63.90	
16	28 Nop ,09	52.60	0.000	80.00	0.000	11.80	1.000	11.80	53.90
17	16 April ,09	91.00	0.000	0.00	0.000	48.50	1.000	48.50	
18	24 Okt ,09	20.60	0.000	52.00	0.000	53.90	1.000	53.90	
19	28 Okt ,10	59.60	0.000	81.80	0.000	7.00	1.000	7.00	90.29
20	17 Des ,10	82.30	0.000	0.00	0.000	0.00	1.000	0.00	
21	31 Maret ,10	12.00	0.000	0.00	0.000	90.30	1.000	90.29	
22	24 April ,11	6.30	0.000	96.40	0.000	2.50	1.000	2.50	90.29
23	5 Jan ,11	93.40	0.000	0.00	0.000	14.70	1.000	14.70	
24	31 Maret ,11	0.00	0.000	0.00	0.000	90.30	1.000	90.29	
25	10 Juni ,12	0.20	0.000	77.20	0.000	8.00	1.000	8.00	67.50

SSD Tanah Merah									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
26	24 Okt ,12	53.60	0.000	10.00	0.000	1.00	1.000	1.00	115.69
27	6 Juli ,12	15.10	0.000	11.10	0.000	67.50	1.000	67.50	
28	3 Mei ,13	0.00	0.000	96.10	0.000	0.50	1.000	0.50	
29	18 Mei ,13	128.50	0.000	0.00	0.000	2.50	1.000	2.50	
30	19 Sept ,13	0.00	0.000	0.00	0.000	115.70	1.000	115.69	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.14 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Binangat

SSD Binangat									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 11.99 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.000	74.00	0.071	91.00	0.929	89.79	104.05
2	3 Des ,04	96.00	0.000	0.00	0.071	0.00	0.929	0.00	
3	12 April ,04	0.00	0.000	0.00	0.071	112.00	0.929	104.05	
4	7 Juli ,05	36.70	0.000	77.00	0.071	31.50	0.929	34.73	115.29
5	28 Jan ,05	81.00	0.000	0.00	0.071	14.00	0.929	13.01	
6	3 Okt ,05	28.00	0.000	68.00	0.071	118.90	0.929	115.29	
7	4 Nop ,06	14.00	0.000	75.00	0.071	14.00	0.929	18.33	66.05
8	25 Maret ,06	99.50	0.000	74.00	0.071	15.00	0.929	19.19	
9	24 Maret ,06	0.00	0.000	0.00	0.071	71.10	0.929	66.05	
10	6 Nop ,07	10.00	0.000	78.50	0.071	57.00	0.929	58.52	92.99
11	10 Nop ,07	86.70	0.000	79.00	0.071	61.00	0.929	62.28	
12	11 Mei ,07	86.00	0.000	0.00	0.071	100.10	0.929	92.99	
13	10 Okt ,08	47.50	0.000	85.00	0.071	0.00	0.929	6.03	59.58
14	22 April ,08	86.00	0.000	33.50	0.071	0.90	0.929	3.21	
15	4 Juni ,08	0.80	0.000	3.00	0.071	63.90	0.929	59.58	
16	28 Nop ,09	52.60	0.000	80.00	0.071	11.80	0.929	16.64	53.76
17	16 April ,09	91.00	0.000	0.00	0.071	48.50	0.929	45.06	
18	24 Okt ,09	20.60	0.000	52.00	0.071	53.90	0.929	53.76	
19	28 Okt ,10	59.60	0.000	81.80	0.071	7.00	0.929	12.31	83.89
20	17 Des ,10	82.30	0.000	0.00	0.071	0.00	0.929	0.00	
21	31 Maret ,10	12.00	0.000	0.00	0.071	90.30	0.929	83.89	
22	24 April ,11	6.30	0.000	96.40	0.071	2.50	0.929	9.16	83.89
23	5 Jan ,11	93.40	0.000	0.00	0.071	14.70	0.929	13.66	
24	31 Maret ,11	0.00	0.000	0.00	0.071	90.30	0.929	83.89	
25	10 Juni ,12	0.20	0.000	77.20	0.071	8.00	0.929	12.91	63.50
26	24 Okt ,12	53.60	0.000	10.00	0.071	1.00	0.929	1.64	
27	6 Juli ,12	15.10	0.000	11.10	0.071	67.50	0.929	63.50	
28	3 Mei ,13	0.00	0.000	96.10	0.071	0.50	0.929	7.28	107.49
29	18 Mei ,13	128.50	0.000	0.00	0.071	2.50	0.929	2.32	
30	19 Sept ,13	0.00	0.000	0.00	0.071	115.70	0.929	107.49	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.15 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Muang

SSD Muang									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 19.34 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.000	74.00	1.000	91.00	0.000	74.00	74.00
2	3 Des ,04	96.00	0.000	0.00	1.000	0.00	0.000	0.00	
3	12 April ,04	0.00	0.000	0.00	1.000	112.00	0.000	0.00	
4	7 Juli ,05	36.70	0.000	77.00	1.000	31.50	0.000	77.00	77.00
5	28 Jan ,05	81.00	0.000	0.00	1.000	14.00	0.000	0.00	
6	3 Okt ,05	28.00	0.000	68.00	1.000	118.90	0.000	68.00	
7	4 Nop ,06	14.00	0.000	75.00	1.000	14.00	0.000	75.00	75.00
8	25 Maret ,06	99.50	0.000	74.00	1.000	15.00	0.000	74.00	
9	24 Maret ,06	0.00	0.000	0.00	1.000	71.10	0.000	0.00	
10	6 Nop ,07	10.00	0.000	78.50	1.000	57.00	0.000	78.50	79.00
11	10 Nop ,07	86.70	0.000	79.00	1.000	61.00	0.000	79.00	
12	11 Mei ,07	86.00	0.000	0.00	1.000	100.10	0.000	0.00	
13	10 Okt ,08	47.50	0.000	85.00	1.000	0.00	0.000	85.00	85.00
14	22 April ,08	86.00	0.000	33.50	1.000	0.90	0.000	33.50	
15	4 Juni ,08	0.80	0.000	3.00	1.000	63.90	0.000	3.00	
16	28 Nop ,09	52.60	0.000	80.00	1.000	11.80	0.000	80.00	80.00
17	16 April ,09	91.00	0.000	0.00	1.000	48.50	0.000	0.00	
18	24 Okt ,09	20.60	0.000	52.00	1.000	53.90	0.000	52.00	
19	28 Okt ,10	59.60	0.000	81.80	1.000	7.00	0.000	81.80	81.80
20	17 Des ,10	82.30	0.000	0.00	1.000	0.00	0.000	0.00	
21	31 Maret ,10	12.00	0.000	0.00	1.000	90.30	0.000	0.00	
22	24 April ,11	6.30	0.000	96.40	1.000	2.50	0.000	96.40	96.40
23	5 Jan ,11	93.40	0.000	0.00	1.000	14.70	0.000	0.00	
24	31 Maret ,11	0.00	0.000	0.00	1.000	90.30	0.000	0.00	
25	10 Juni ,12	0.20	0.000	77.20	1.000	8.00	0.000	77.20	77.20
26	24 Okt ,12	53.60	0.000	10.00	1.000	1.00	0.000	10.00	
27	6 Juli ,12	15.10	0.000	11.10	1.000	67.50	0.000	11.10	
28	3 Mei ,13	0.00	0.000	96.10	1.000	0.50	0.000	96.10	96.10
29	18 Mei ,13	128.50	0.000	0.00	1.000	2.50	0.000	0.00	
30	19 Sept ,13	0.00	0.000	0.00	1.000	115.70	0.000	0.00	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.16 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Bayur

SSD Bayur									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 22.5 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.000	74.00	1.000	91.00	0.000	74.00	74.00
2	3 Des ,04	96.00	0.000	0.00	1.000	0.00	0.000	0.00	
3	12 April ,04	0.00	0.000	0.00	1.000	112.00	0.000	0.00	
4	7 Juli ,05	36.70	0.000	77.00	1.000	31.50	0.000	77.00	77.00
5	28 Jan ,05	81.00	0.000	0.00	1.000	14.00	0.000	0.00	

SSD Bayur										
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max	
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah				
		R1	C1	R2	C2	R3	C3			
6	3 Okt ,05	28.00	0.000	68.00	1.000	118.90	0.000	68.00	75.00	
7	4 Nop ,06	14.00	0.000	75.00	1.000	14.00	0.000	75.00		
8	25 Maret ,06	99.50	0.000	74.00	1.000	15.00	0.000	74.00		
9	24 Maret ,06	0.00	0.000	0.00	1.000	71.10	0.000	0.00		
10	6 Nop ,07	10.00	0.000	78.50	1.000	57.00	0.000	78.50	79.00	
11	10 Nop ,07	86.70	0.000	79.00	1.000	61.00	0.000	79.00		
12	11 Mei ,07	86.00	0.000	0.00	1.000	100.10	0.000	0.00		
13	10 Okt ,08	47.50	0.000	85.00	1.000	0.00	0.000	85.00		
14	22 April ,08	86.00	0.000	33.50	1.000	0.90	0.000	33.50	85.00	
15	4 Juni ,08	0.80	0.000	3.00	1.000	63.90	0.000	3.00		
16	28 Nop ,09	52.60	0.000	80.00	1.000	11.80	0.000	80.00		
17	16 April ,09	91.00	0.000	0.00	1.000	48.50	0.000	0.00		
18	24 Okt ,09	20.60	0.000	52.00	1.000	53.90	0.000	52.00	80.00	
19	28 Okt ,10	59.60	0.000	81.80	1.000	7.00	0.000	81.80		
20	17 Des ,10	82.30	0.000	0.00	1.000	0.00	0.000	0.00		
21	31 Maret ,10	12.00	0.000	0.00	1.000	90.30	0.000	0.00		
22	24 April ,11	6.30	0.000	96.40	1.000	2.50	0.000	96.40	96.40	
23	5 Jan ,11	93.40	0.000	0.00	1.000	14.70	0.000	0.00		
24	31 Maret ,11	0.00	0.000	0.00	1.000	90.30	0.000	0.00		
25	10 Juni ,12	0.20	0.000	77.20	1.000	8.00	0.000	77.20		
26	24 Okt ,12	53.60	0.000	10.00	1.000	1.00	0.000	10.00	77.20	
27	6 Juli ,12	15.10	0.000	11.10	1.000	67.50	0.000	11.10		
28	3 Mei ,13	0.00	0.000	96.10	1.000	0.50	0.000	96.10		
29	18 Mei ,13	128.50	0.000	0.00	1.000	2.50	0.000	0.00		
30	19 Sept ,13	0.00	0.000	0.00	1.000	115.70	0.000	0.00	96.10	
Sumber : Hasil Analisa (2014)										

Tabel 5.17 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Benanga

SSD Benanga									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 4.85 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.000	74.00	0.382	91.00	0.618	84.57	84.57
2	3 Des ,04	96.00	0.000	0.00	0.382	0.00	0.618	0.00	
3	12 April ,04	0.00	0.000	0.00	0.382	112.00	0.618	69.26	
4	7 Juli ,05	36.70	0.000	77.00	0.382	31.50	0.618	48.92	99.53
5	28 Jan ,05	81.00	0.000	0.00	0.382	14.00	0.618	8.66	
6	3 Okt ,05	28.00	0.000	68.00	0.382	118.90	0.618	99.53	
7	4 Nop ,06	14.00	0.000	75.00	0.382	14.00	0.618	37.34	43.97
8	25 Maret ,06	99.50	0.000	74.00	0.382	15.00	0.618	37.57	
9	24 Maret ,06	0.00	0.000	0.00	0.382	71.10	0.618	43.97	
10	6 Nop ,07	10.00	0.000	78.50	0.382	57.00	0.618	65.27	67.93
11	10 Nop ,07	86.70	0.000	79.00	0.382	61.00	0.618	67.93	
12	11 Mei ,07	86.00	0.000	0.00	0.382	100.10	0.618	61.90	
13	10 Okt ,08	47.50	0.000	85.00	0.382	0.00	0.618	32.50	40.66
14	22 April ,08	86.00	0.000	33.50	0.382	0.90	0.618	13.37	
15	4 Juni ,08	0.80	0.000	3.00	0.382	63.90	0.618	40.66	

SSD Benanga									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
16	28 Nop ,09	52.60	0.000	80.00	0.382	11.80	0.618	37.89	53.22
17	16 April ,09	91.00	0.000	0.00	0.382	48.50	0.618	29.99	
18	24 Okt ,09	20.60	0.000	52.00	0.382	53.90	0.618	53.22	
19	28 Okt ,10	59.60	0.000	81.80	0.382	7.00	0.618	35.61	55.84
20	17 Des ,10	82.30	0.000	0.00	0.382	0.00	0.618	0.00	
21	31 Maret ,10	12.00	0.000	0.00	0.382	90.30	0.618	55.84	
22	24 April ,11	6.30	0.000	96.40	0.382	2.50	0.618	38.41	55.84
23	5 Jan ,11	93.40	0.000	0.00	0.382	14.70	0.618	9.09	
24	31 Maret ,11	0.00	0.000	0.00	0.382	90.30	0.618	55.84	
25	10 Juni ,12	0.20	0.000	77.20	0.382	8.00	0.618	34.47	45.99
26	24 Okt ,12	53.60	0.000	10.00	0.382	1.00	0.618	4.44	
27	6 Juli ,12	15.10	0.000	11.10	0.382	67.50	0.618	45.99	
28	3 Mei ,13	0.00	0.000	96.10	0.382	0.50	0.618	37.06	71.55
29	18 Mei ,13	128.50	0.000	0.00	0.382	2.50	0.618	1.55	
30	19 Sept ,13	0.00	0.000	0.00	0.382	115.70	0.618	71.55	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.18 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Betapus

SSD Betapus									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 9.33 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.000	74.00	0.799	91.00	0.201	77.44	77.44
2	3 Des ,04	96.00	0.000	0.00	0.799	0.00	0.201	0.00	
3	12 April ,04	0.00	0.000	0.00	0.799	112.00	0.201	22.50	
4	7 Juli ,05	36.70	0.000	77.00	0.799	31.50	0.201	67.88	78.24
5	28 Jan ,05	81.00	0.000	0.00	0.799	14.00	0.201	2.81	
6	3 Okt ,05	28.00	0.000	68.00	0.799	118.90	0.201	78.24	
7	4 Nop ,06	14.00	0.000	75.00	0.799	14.00	0.201	62.77	62.77
8	25 Maret ,06	99.50	0.000	74.00	0.799	15.00	0.201	62.17	
9	24 Maret ,06	0.00	0.000	0.00	0.799	71.10	0.201	14.28	
10	6 Nop ,07	10.00	0.000	78.50	0.799	57.00	0.201	74.20	75.41
11	10 Nop ,07	86.70	0.000	79.00	0.799	61.00	0.201	75.41	
12	11 Mei ,07	86.00	0.000	0.00	0.799	100.10	0.201	20.11	
13	10 Okt ,08	47.50	0.000	85.00	0.799	0.00	0.201	67.95	67.95
14	22 April ,08	86.00	0.000	33.50	0.799	0.90	0.201	26.96	
15	4 Juni ,08	0.80	0.000	3.00	0.799	63.90	0.201	15.23	
16	28 Nop ,09	52.60	0.000	80.00	0.799	11.80	0.201	66.32	66.32
17	16 April ,09	91.00	0.000	0.00	0.799	48.50	0.201	9.74	
18	24 Okt ,09	20.60	0.000	52.00	0.799	53.90	0.201	52.40	
19	28 Okt ,10	59.60	0.000	81.80	0.799	7.00	0.201	66.80	66.80
20	17 Des ,10	82.30	0.000	0.00	0.799	0.00	0.201	0.00	
21	31 Maret ,10	12.00	0.000	0.00	0.799	90.30	0.201	18.14	
22	24 April ,11	6.30	0.000	96.40	0.799	2.50	0.201	77.57	77.57
23	5 Jan ,11	93.40	0.000	0.00	0.799	14.70	0.201	2.95	
24	31 Maret ,11	0.00	0.000	0.00	0.799	90.30	0.201	18.14	
25	10 Juni ,12	0.20	0.000	77.20	0.799	8.00	0.201	63.32	63.32

SSD Betapus									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
26	24 Okt ,12	53.60	0.000	10.00	0.799	1.00	0.201	8.20	76.92
27	6 Juli ,12	15.10	0.000	11.10	0.799	67.50	0.201	22.43	
28	3 Mei ,13	0.00	0.000	96.10	0.799	0.50	0.201	76.92	
29	18 Mei ,13	128.50	0.000	0.00	0.799	2.50	0.201	0.50	
30	19 Sept ,13	0.00	0.000	0.00	0.799	115.70	0.201	23.24	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.19 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Lampake

SSD Lampake									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 12.88 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.000	74.00	0.000	91.00	1.000	91.03	112.03
2	3 Des ,04	96.00	0.000	0.00	0.000	0.00	1.000	0.00	
3	12 April ,04	0.00	0.000	0.00	0.000	112.00	1.000	112.03	
4	7 Juli ,05	36.70	0.000	77.00	0.000	31.50	1.000	31.51	118.94
5	28 Jan ,05	81.00	0.000	0.00	0.000	14.00	1.000	14.00	
6	3 Okt ,05	28.00	0.000	68.00	0.000	118.90	1.000	118.94	
7	4 Nop ,06	14.00	0.000	75.00	0.000	14.00	1.000	14.00	71.12
8	25 Maret ,06	99.50	0.000	74.00	0.000	15.00	1.000	15.00	
9	24 Maret ,06	0.00	0.000	0.00	0.000	71.10	1.000	71.12	
10	6 Nop ,07	10.00	0.000	78.50	0.000	57.00	1.000	57.02	100.13
11	10 Nop ,07	86.70	0.000	79.00	0.000	61.00	1.000	61.02	
12	11 Mei ,07	86.00	0.000	0.00	0.000	100.10	1.000	100.13	
13	10 Okt ,08	47.50	0.000	85.00	0.000	0.00	1.000	0.00	63.92
14	22 April ,08	86.00	0.000	33.50	0.000	0.90	1.000	0.90	
15	4 Juni ,08	0.80	0.000	3.00	0.000	63.90	1.000	63.92	
16	28 Nop ,09	52.60	0.000	80.00	0.000	11.80	1.000	11.80	53.92
17	16 April ,09	91.00	0.000	0.00	0.000	48.50	1.000	48.51	
18	24 Okt ,09	20.60	0.000	52.00	0.000	53.90	1.000	53.92	
19	28 Okt ,10	59.60	0.000	81.80	0.000	7.00	1.000	7.00	90.33
20	17 Des ,10	82.30	0.000	0.00	0.000	0.00	1.000	0.00	
21	31 Maret ,10	12.00	0.000	0.00	0.000	90.30	1.000	90.33	
22	24 April ,11	6.30	0.000	96.40	0.000	2.50	1.000	2.50	90.33
23	5 Jan ,11	93.40	0.000	0.00	0.000	14.70	1.000	14.70	
24	31 Maret ,11	0.00	0.000	0.00	0.000	90.30	1.000	90.33	
25	10 Juni ,12	0.20	0.000	77.20	0.000	8.00	1.000	8.00	67.52
26	24 Okt ,12	53.60	0.000	10.00	0.000	1.00	1.000	1.00	
27	6 Juli ,12	15.10	0.000	11.10	0.000	67.50	1.000	67.52	
28	3 Mei ,13	0.00	0.000	96.10	0.000	0.50	1.000	0.50	115.73
29	18 Mei ,13	128.50	0.000	0.00	0.000	2.50	1.000	2.50	
30	19 Sept ,13	0.00	0.000	0.00	0.000	115.70	1.000	115.73	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.20 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Bangkuring

SSD Bangkuring									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 4.33 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.000	74.00	0.047	91.00	0.952	90.12	106.67
2	3 Des ,04	96.00	0.000	0.00	0.047	0.00	0.952	0.00	
3	12 April ,04	0.00	0.000	0.00	0.047	112.00	0.952	106.67	
4	7 Juli ,05	36.70	0.000	77.00	0.047	31.50	0.952	33.59	116.41
5	28 Jan ,05	81.00	0.000	0.00	0.047	14.00	0.952	13.33	
6	3 Okt ,05	28.00	0.000	68.00	0.047	118.90	0.952	116.41	
7	4 Nop ,06	14.00	0.000	75.00	0.047	14.00	0.952	16.83	67.72
8	25 Maret ,06	99.50	0.000	74.00	0.047	15.00	0.952	17.73	
9	24 Maret ,06	0.00	0.000	0.00	0.047	71.10	0.952	67.72	
10	6 Nop ,07	10.00	0.000	78.50	0.047	57.00	0.952	57.94	95.34
11	10 Nop ,07	86.70	0.000	79.00	0.047	61.00	0.952	61.78	
12	11 Mei ,07	86.00	0.000	0.00	0.047	100.10	0.952	95.34	
13	10 Okt ,08	47.50	0.000	85.00	0.047	0.00	0.952	3.96	61.00
14	22 April ,08	86.00	0.000	33.50	0.047	0.90	0.952	2.42	
15	4 Juni ,08	0.80	0.000	3.00	0.047	63.90	0.952	61.00	
16	28 Nop ,09	52.60	0.000	80.00	0.047	11.80	0.952	14.96	53.76
17	16 April ,09	91.00	0.000	0.00	0.047	48.50	0.952	46.19	
18	24 Okt ,09	20.60	0.000	52.00	0.047	53.90	0.952	53.76	
19	28 Okt ,10	59.60	0.000	81.80	0.047	7.00	0.952	10.48	86.01
20	17 Des ,10	82.30	0.000	0.00	0.047	0.00	0.952	0.00	
21	31 Maret ,10	12.00	0.000	0.00	0.047	90.30	0.952	86.01	
22	24 April ,11	6.30	0.000	96.40	0.047	2.50	0.952	6.87	86.01
23	5 Jan ,11	93.40	0.000	0.00	0.047	14.70	0.952	14.00	
24	31 Maret ,11	0.00	0.000	0.00	0.047	90.30	0.952	86.01	
25	10 Juni ,12	0.20	0.000	77.20	0.047	8.00	0.952	11.21	64.81
26	24 Okt ,12	53.60	0.000	10.00	0.047	1.00	0.952	1.42	
27	6 Juli ,12	15.10	0.000	11.10	0.047	67.50	0.952	64.81	
28	3 Mei ,13	0.00	0.000	96.10	0.047	0.50	0.952	4.95	110.20
29	18 Mei ,13	128.50	0.000	0.00	0.047	2.50	0.952	2.38	
30	19 Sept ,13	0.00	0.000	0.00	0.047	115.70	0.952	110.20	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.21 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Lingai

SSD Lingai									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 1.68 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.000	74.00	0.000	91.00	1.000	91.02	112.03
2	3 Des ,04	96.00	0.000	0.00	0.000	0.00	1.000	0.00	
3	12 April ,04	0.00	0.000	0.00	0.000	112.00	1.000	112.03	
4	7 Juli ,05	36.70	0.000	77.00	0.000	31.50	1.000	31.51	118.93
5	28 Jan ,05	81.00	0.000	0.00	0.000	14.00	1.000	14.00	

SSD Lingai									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
6	3 Okt ,05	28.00	0.000	68.00	0.000	118.90	1.000	118.93	71.12
7	4 Nop ,06	14.00	0.000	75.00	0.000	14.00	1.000	14.00	
8	25 Maret ,06	99.50	0.000	74.00	0.000	15.00	1.000	15.00	
9	24 Maret ,06	0.00	0.000	0.00	0.000	71.10	1.000	71.12	100.12
10	6 Nop ,07	10.00	0.000	78.50	0.000	57.00	1.000	57.01	
11	10 Nop ,07	86.70	0.000	79.00	0.000	61.00	1.000	61.01	
12	11 Mei ,07	86.00	0.000	0.00	0.000	100.10	1.000	100.12	63.91
13	10 Okt ,08	47.50	0.000	85.00	0.000	0.00	1.000	0.00	
14	22 April ,08	86.00	0.000	33.50	0.000	0.90	1.000	0.90	
15	4 Juni ,08	0.80	0.000	3.00	0.000	63.90	1.000	63.91	53.91
16	28 Nop ,09	52.60	0.000	80.00	0.000	11.80	1.000	11.80	
17	16 April ,09	91.00	0.000	0.00	0.000	48.50	1.000	48.51	
18	24 Okt ,09	20.60	0.000	52.00	0.000	53.90	1.000	53.91	90.32
19	28 Okt ,10	59.60	0.000	81.80	0.000	7.00	1.000	7.00	
20	17 Des ,10	82.30	0.000	0.00	0.000	0.00	1.000	0.00	
21	31 Maret ,10	12.00	0.000	0.00	0.000	90.30	1.000	90.32	90.32
22	24 April ,11	6.30	0.000	96.40	0.000	2.50	1.000	2.50	
23	5 Jan ,11	93.40	0.000	0.00	0.000	14.70	1.000	14.70	
24	31 Maret ,11	0.00	0.000	0.00	0.000	90.30	1.000	90.32	67.52
25	10 Juni ,12	0.20	0.000	77.20	0.000	8.00	1.000	8.00	
26	24 Okt ,12	53.60	0.000	10.00	0.000	1.00	1.000	1.00	
27	6 Juli ,12	15.10	0.000	11.10	0.000	67.50	1.000	67.52	115.73
28	3 Mei ,13	0.00	0.000	96.10	0.000	0.50	1.000	0.50	
29	18 Mei ,13	128.50	0.000	0.00	0.000	2.50	1.000	2.50	
30	19 Sept ,13	0.00	0.000	0.00	0.000	115.70	1.000	115.73	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.22 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Mugirejo

SSD Mugirejo									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 6.78 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.000	74.00	0.000	91.00	1.000	90.97	111.96
2	3 Des ,04	96.00	0.000	0.00	0.000	0.00	1.000	0.00	
3	12 April ,04	0.00	0.000	0.00	0.000	112.00	1.000	111.96	
4	7 Juli ,05	36.70	0.000	77.00	0.000	31.50	1.000	31.49	118.85
5	28 Jan ,05	81.00	0.000	0.00	0.000	14.00	1.000	13.99	
6	3 Okt ,05	28.00	0.000	68.00	0.000	118.90	1.000	118.85	
7	4 Nop ,06	14.00	0.000	75.00	0.000	14.00	1.000	13.99	71.07
8	25 Maret ,06	99.50	0.000	74.00	0.000	15.00	1.000	14.99	
9	24 Maret ,06	0.00	0.000	0.00	0.000	71.10	1.000	71.07	
10	6 Nop ,07	10.00	0.000	78.50	0.000	57.00	1.000	56.98	100.06
11	10 Nop ,07	86.70	0.000	79.00	0.000	61.00	1.000	60.98	
12	11 Mei ,07	86.00	0.000	0.00	0.000	100.10	1.000	100.06	
13	10 Okt ,08	47.50	0.000	85.00	0.000	0.00	1.000	0.00	63.88
14	22 April ,08	86.00	0.000	33.50	0.000	0.90	1.000	0.90	
15	4 Juni ,08	0.80	0.000	3.00	0.000	63.90	1.000	63.88	

SSD Mugirejo									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
16	28 Nop ,09	52.60	0.000	80.00	0.000	11.80	1.000	11.80	53.88
17	16 April ,09	91.00	0.000	0.00	0.000	48.50	1.000	48.48	
18	24 Okt ,09	20.60	0.000	52.00	0.000	53.90	1.000	53.88	
19	28 Okt ,10	59.60	0.000	81.80	0.000	7.00	1.000	7.00	90.27
20	17 Des ,10	82.30	0.000	0.00	0.000	0.00	1.000	0.00	
21	31 Maret ,10	12.00	0.000	0.00	0.000	90.30	1.000	90.27	
22	24 April ,11	6.30	0.000	96.40	0.000	2.50	1.000	2.50	90.27
23	5 Jan ,11	93.40	0.000	0.00	0.000	14.70	1.000	14.69	
24	31 Maret ,11	0.00	0.000	0.00	0.000	90.30	1.000	90.27	
25	10 Juni ,12	0.20	0.000	77.20	0.000	8.00	1.000	8.00	67.47
26	24 Okt ,12	53.60	0.000	10.00	0.000	1.00	1.000	1.00	
27	6 Juli ,12	15.10	0.000	11.10	0.000	67.50	1.000	67.47	
28	3 Mei ,13	0.00	0.000	96.10	0.000	0.50	1.000	0.50	115.66
29	18 Mei ,13	128.50	0.000	0.00	0.000	2.50	1.000	2.50	
30	19 Sept ,13	0.00	0.000	0.00	0.000	115.70	1.000	115.66	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.23 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Sempaja

SSD Sempaja									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 20.26 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.000	74.00	0.196	91.00	0.804	87.68	90.08
2	3 Des ,04	96.00	0.000	0.00	0.196	0.00	0.804	0.00	
3	12 April ,04	0.00	0.000	0.00	0.196	112.00	0.804	90.08	
4	7 Juli ,05	36.70	0.000	77.00	0.196	31.50	0.804	40.42	108.94
5	28 Jan ,05	81.00	0.000	0.00	0.196	14.00	0.804	11.26	
6	3 Okt ,05	28.00	0.000	68.00	0.196	118.90	0.804	108.94	
7	4 Nop ,06	14.00	0.000	75.00	0.196	14.00	0.804	25.95	57.18
8	25 Maret ,06	99.50	0.000	74.00	0.196	15.00	0.804	26.56	
9	24 Maret ,06	0.00	0.000	0.00	0.196	71.10	0.804	57.18	
10	6 Nop ,07	10.00	0.000	78.50	0.196	57.00	0.804	61.22	80.50
11	10 Nop ,07	86.70	0.000	79.00	0.196	61.00	0.804	64.53	
12	11 Mei ,07	86.00	0.000	0.00	0.196	100.10	0.804	80.50	
13	10 Okt ,08	47.50	0.000	85.00	0.196	0.00	0.804	16.65	51.98
14	22 April ,08	86.00	0.000	33.50	0.196	0.90	0.804	7.29	
15	4 Juni ,08	0.80	0.000	3.00	0.196	63.90	0.804	51.98	
16	28 Nop ,09	52.60	0.000	80.00	0.196	11.80	0.804	25.16	53.53
17	16 April ,09	91.00	0.000	0.00	0.196	48.50	0.804	39.01	
18	24 Okt ,09	20.60	0.000	52.00	0.196	53.90	0.804	53.53	
19	28 Okt ,10	59.60	0.000	81.80	0.196	7.00	0.804	21.65	72.62
20	17 Des ,10	82.30	0.000	0.00	0.196	0.00	0.804	0.00	
21	31 Maret ,10	12.00	0.000	0.00	0.196	90.30	0.804	72.62	
22	24 April ,11	6.30	0.000	96.40	0.196	2.50	0.804	20.89	72.62
23	5 Jan ,11	93.40	0.000	0.00	0.196	14.70	0.804	11.82	
24	31 Maret ,11	0.00	0.000	0.00	0.196	90.30	0.804	72.62	
25	10 Juni ,12	0.20	0.000	77.20	0.196	8.00	0.804	21.56	56.46

SSD Sempaja									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
26	24 Okt ,12	53.60	0.000	10.00	0.196	1.00	0.804	2.76	93.05
27	6 Juli ,12	15.10	0.000	11.10	0.196	67.50	0.804	56.46	
28	3 Mei ,13	0.00	0.000	96.10	0.196	0.50	0.804	19.23	
29	18 Mei ,13	128.50	0.000	0.00	0.196	2.50	0.804	2.01	
30	19 Sept ,13	0.00	0.000	0.00	0.196	115.70	0.804	93.05	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.24 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Karang Mumus Hilir

SSD Karang Mumus Hilir									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 23.56 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.000	74.00	0.000	91.00	1.000	91.00	112.00
2	3 Des ,04	96.00	0.000	0.00	0.000	0.00	1.000	0.00	
3	12 April ,04	0.00	0.000	0.00	0.000	112.00	1.000	112.00	
4	7 Juli ,05	36.70	0.000	77.00	0.000	31.50	1.000	31.50	118.90
5	28 Jan ,05	81.00	0.000	0.00	0.000	14.00	1.000	14.00	
6	3 Okt ,05	28.00	0.000	68.00	0.000	118.90	1.000	118.90	
7	4 Nop ,06	14.00	0.000	75.00	0.000	14.00	1.000	14.00	71.10
8	25 Maret ,06	99.50	0.000	74.00	0.000	15.00	1.000	15.00	
9	24 Maret ,06	0.00	0.000	0.00	0.000	71.10	1.000	71.10	
10	6 Nop ,07	10.00	0.000	78.50	0.000	57.00	1.000	57.00	100.10
11	10 Nop ,07	86.70	0.000	79.00	0.000	61.00	1.000	61.00	
12	11 Mei ,07	86.00	0.000	0.00	0.000	100.10	1.000	100.10	
13	10 Okt ,08	47.50	0.000	85.00	0.000	0.00	1.000	0.00	63.90
14	22 April ,08	86.00	0.000	33.50	0.000	0.90	1.000	0.90	
15	4 Juni ,08	0.80	0.000	3.00	0.000	63.90	1.000	63.90	
16	28 Nop ,09	52.60	0.000	80.00	0.000	11.80	1.000	11.80	53.90
17	16 April ,09	91.00	0.000	0.00	0.000	48.50	1.000	48.50	
18	24 Okt ,09	20.60	0.000	52.00	0.000	53.90	1.000	53.90	
19	28 Okt ,10	59.60	0.000	81.80	0.000	7.00	1.000	7.00	90.30
20	17 Des ,10	82.30	0.000	0.00	0.000	0.00	1.000	0.00	
21	31 Maret ,10	12.00	0.000	0.00	0.000	90.30	1.000	90.30	
22	24 April ,11	6.30	0.000	96.40	0.000	2.50	1.000	2.50	90.30
23	5 Jan ,11	93.40	0.000	0.00	0.000	14.70	1.000	14.70	
24	31 Maret ,11	0.00	0.000	0.00	0.000	90.30	1.000	90.30	
25	10 Juni ,12	0.20	0.000	77.20	0.000	8.00	1.000	8.00	67.50
26	24 Okt ,12	53.60	0.000	10.00	0.000	1.00	1.000	1.00	
27	6 Juli ,12	15.10	0.000	11.10	0.000	67.50	1.000	67.50	
28	3 Mei ,13	0.00	0.000	96.10	0.000	0.50	1.000	0.50	115.70
29	18 Mei ,13	128.50	0.000	0.00	0.000	2.50	1.000	2.50	
30	19 Sept ,13	0.00	0.000	0.00	0.000	115.70	1.000	115.70	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

5.1.1.3 Perhitungan Curah Hujan Rencana

Perhitungan curah hujan rencana dilakukan untuk mendapatkan curah hujan yang nantinya akan digunakan sebagai dasar perhitungan debit banjir rencana. Perhitungan curah hujan rencana dilakukan secara parsial untuk masing-masing sub sub DAS, dengan percobaan menggunakan beberapa model distribusi statistik seperti Distribusi Normal, Distribusi Gumbel dan Distribusi Log Pearson Tipe III.

Setelah dilakukan proses distribusi statistik, hasil perhitungan tersebut diuji dengan beberapa metode seperti Uji *Chi Square* dan Uji Smirnov-Kolmogorof sebagai acuan pemilihan distribusi yang paling memenuhi persyaratan uji statistik. Berikut contoh hasil perhitungan dari curah hujan rencana pada sub sub DAS Karang Mumus :

Sub Sub DAS Karang Mumus Hulu

a. Perhitungan Distribusi Hujan

Distribusi hujan dilakukan untuk menentukan nilai hujan rencana masing-masing periode ulang.

Tabel 5.25 Curah Hujan Maksimum Rata-rata

No.	Tahun	X_T
1.	2004	95.49
2.	2005	80.57
3.	2006	99.36
4.	2007	86.66
5.	2008	85.72
6.	2009	90.52
7.	2010	81.86
8.	2011	92.91
9.	2012	53.37
10.	2013	127.82

Sumber : Hasil Analisa (2014)

Tabel 5.26 Perhitungan Parameter Perhitungan Distribusi

No.	Tahun	X_i	\bar{X}	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$	$(X_i - \bar{X})^3$	$(X_i - \bar{X})^4$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	2004	95.49	89.43	6.06	36.78	223.02	1352.48
2	2005	80.57	89.43	-8.86	78.43	-694.65	6152.03
3	2006	99.36	89.43	9.93	98.67	980.12	9735.76
4	2007	86.66	89.43	-2.77	7.69	-21.32	59.12
5	2008	85.72	89.43	-3.71	13.74	-50.96	188.92
6	2009	90.52	89.43	1.09	1.19	1.30	1.42
7	2010	81.86	89.43	-7.56	57.20	-432.63	3272.11
8	2011	92.91	89.43	3.48	12.10	42.07	146.34
9	2012	53.37	89.43	-36.06	1300.26	-46886.07	1690668.66
10	2013	127.82	89.43	38.39	1473.98	56589.68	2172616.06
	Total	894.28			3080.04	9750.56	3884192.89

Sumber : Hasil Analisa (2014)

- Distribusi Normal

Perhitungan hujan rencana berdasarkan Distribusi Probabilitas Normal, dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$n = 10$$

Perhitungan Standar Deviasi

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{3080.04}{9}} = 18.50 \text{ mm}$$

Perhitungan Koefisien Variasi (*Variation Coefficient*)

$$CV = \frac{S}{\bar{X}}$$

$$= \frac{18.50 \text{ mm}}{92.00 \text{ mm}} = 0.206$$

Perhitungan Koefisien Kemencengan (*Skewness*)

$$CS = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)}$$

$$= \frac{9750.56}{(9)(8)} = 1354.244$$

$$CS = \frac{1354.244}{5658.968} = 0.213$$

Perhitungan Koefisien Kurtosis

$$CK = \frac{\frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^4}{\left(\frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2 \right)^2} = \frac{1}{\dots} = 3.3164$$

Perhitungan nilai X_{TR}

Pada perhitungan curah hujan rencana, nilai K_T berdasarkan pada nilai T dari Tabel, pada tesis ini diambil nilai $T = 2-100$ tahun.

$$X_{TR} = \bar{X} + K_T \cdot S$$

Tabel 5.27 Hasil perhitungan Curah Hujan Rrencana Metode Normal

No.	Periode Ulang (T)	\bar{x}	K_T	S	X_{TR}
1	2	89.43	0	18.50	89.427
2	5	89.43	0.84	18.50	104.967
3	10	89.43	1.28	18.50	113.107
4	20	89.43	1.64	18.50	119.766
5	50	89.43	2.05	18.50	127.351
6	100	89.43	2.33	18.50	132.531

Sumber : Hasil Analisa (2014)

- Distribusi Gumbel

Perhitungan hujan rencana berdasarkan Distribusi Probabilitas Gumbel, dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$n = 10$$

Perhitungan Standar Deviasi

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{3080.04}{9}} = 18.50 \text{ mm}$$

Perhitungan Koefisien Variasi (*Variation Coefficient*)

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} = \frac{18.50 \text{ mm}}{89.43 \text{ mm}} = 0.206$$

Perhitungan Koefisien Kemencengan (*Skewness*)

$$CS = \frac{a}{(n-1)(n-2)} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)} = 1354.244$$

$$CS = \frac{1354.244}{(n-1)(n-2)} = 0.213$$

Perhitungan Koefisien Kurtosis

$$CK = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{1}{3} = 3.3164$$

Penentuan nilai S_n dan Y_n

Untuk menentukan nilai S_n tergantung pada **Tabel Lampiran A.6** yang tergantung pada nilai n (jumlah data).

$$N = 10$$

$$S_n = 0.9496$$

$$Y_n = 0.4592$$

Perhitungan nilai Y_t

Perhitungan nilai Y_t bergantung mapda nilai periode ulang (T) sebagai berikut :

Tabel 5.28 Hasil perhitungan Y_T

No.	Peride Ulang (T)	Y_T
1	2	0.3665
2	5	1.4999
3	10	2.2504
4	20	2.9702
5	50	3.9019
6	100	4.6001

Sumber : Hasil Analisa (2014)

Perhitungan nilai X_{TR}

Pada perhitungan curah hujan rencana, nilai K_T berdasarkan pada nilai T dari Tabel, pada tesis ini diambil nilai $T = 2-100$ tahun.

$$X_{TR} = \bar{X} + S.K$$

$$Y_t = \text{Reduce Variate} = -Ln - Ln \frac{T-1}{T}$$

$$K = \text{faktor frekwensi Gumbel} = \frac{Y_t - Y_n}{S_n}$$

Tabel 5.29 Hasil perhitungan Curah Hujan Rencana Distribusi Gumbel

No.	Periode Ulang (T)	—	S	S _n	Y _t	Y _n	X _{tr}
1	2	89.43	18.50	0.950	0.367	0.459	87.622
2	5	89.43	18.50	0.950	1.500	0.459	109.703
3	10	89.43	18.50	0.950	2.250	0.459	124.322
4	20	89.43	18.50	0.950	2.970	0.459	138.345
5	50	89.43	18.50	0.950	3.902	0.459	156.497
6	100	89.43	18.50	0.950	4.600	0.459	170.099

Sumber : Hasil Analisa (2014)

- Distribusi Log Pearson Tipe III

Pada perhitungan distribusi Log Pearson Tipe III, semua nilai X dirubah menjadi bilangan Log terlebih dahulu.

Tabel 5.30 Perhitungan Distribusi Log Pearson Tipe III

No	Tahun	Xi	Log Xi	Log \bar{X}	(Log X _i -Log \bar{X})	(Log X _i -Log \bar{X}) ²	(Log X _i -Log \bar{X}) ³	(Log X _i -Log \bar{X}) ⁴
1	2004	95.49	1.98	1.94	0.04	0.001396	0.000052	0.000002
2	2005	80.57	1.91	1.94	-0.04	0.001326	-0.000048	0.000002
3	2006	99.36	2.00	1.94	0.05	0.002983	0.000163	0.000009
4	2007	86.66	1.94	1.94	0.00	0.000023	0.000000	0.000000
5	2008	85.72	1.93	1.94	-0.01	0.000091	-0.000001	0.000000
6	2009	90.52	1.96	1.94	0.01	0.000200	0.000003	0.000000
7	2010	81.86	1.91	1.94	-0.03	0.000871	-0.000026	0.000001
8	2011	92.91	1.97	1.94	0.03	0.000647	0.000016	0.000000
9	2012	53.37	1.73	1.94	-0.22	0.046360	-0.009982	0.002149
10	2013	127.82	2.11	1.94	0.16	0.026896	0.004411	0.000723
	Total	894.28	19.43			0.080792	-0.005412	0.002886

Sumber : Hasil Analisa (2014)

Perhitungan hujan rencana berdasarkan Distribusi Probabilitas Gumbel, dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$n = 10$$

Perhitungan Standar Deviasi

$$L\ og\ - = \sqrt{\frac{\sum (\log X_i - \log \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{\dots}{\dots}} = 0.095\ mm$$

Perhitungan Koefisien Variasi (*Variation Coefficient*)

$$CV = \frac{L\ og\ -}{\sum \log}$$

$$= \frac{\text{mm}}{\text{mm}} = 0.0487$$

Perhitungan Koefisien Kemencengan (*Skewness*)

$$CS = \frac{n \sum (\log - \log)}{n - n - (\log)}$$

$$CS = \frac{\dots}{\dots} = -0.883$$

} Sama dengan nilai G

Perhitungan Koefisien Kurtosis

$$CK = \frac{\sqrt{n} \sum_i^n (\log_i - \log)}{(\log)}$$

$$= \frac{\dots}{\dots} = -6.715$$

Penentuan nilai K_T

Penentuan nilai K_T berdasarkan pada nilai T dan Nilai Cs dari **Tabel 5.31**, berikut hasil perhitungan nilai K_T :

Tabel 5.31 Hasil perhitungan K_T

No.	Periode Ulang	K_T
1	2	0.145391687
2	5	0.854326039
3	10	1.150097372
4	20	1.325821658
5	50	1.558292115
6	100	1.671900428

Sumber : Hasil Analisa (2014)

Penentuan nilai X_{TR}

Perhitungan nilai X_{TR} berdasarkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Log } X_{TR} = \text{Log } X + K_T \times S \log X$$

Tabel 5.32 Hasil Perhitungan Curah Hujan Rencana
Distribusi Log Pearson III

No.	Periode Ulang	\bar{o}	K_T	\bar{o}	Log X_{TR}	X_{TR}
1	2	1.94	0.1454	0.095	1.96	90.4434
2	5	1.94	0.8543	0.095	2.02	105.5713
3	10	1.94	1.1501	0.095	2.05	112.6080
4	25	1.94	1.3258	0.095	2.09	123.0961
5	50	1.94	1.5583	0.095	2.10	126.1852
6	100	1.94	1.6719	0.095	2.09	121.6186

Sumber : Hasil Analisa (2014)

- Rekapitulasi Hasil Perhitungan Parameter Distribusi

Berikut merupakan rekapitulasi hasil perhitungan parameter distribusi

Tabel 5.33 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Parameter Distribusi

No.	Jenis Distribusi	Parameter			
		S / \bar{o}	CS	CK	CV
1	Normal	18.499	0.214	3.316	0.207
2	Gumbel	18.499	0.214	3.316	0.207
3	Log Pearson Tipe III	0.095	-0.884	-6.715	0.049

Sumber : Hasil Analisa (2014)

b. Perhitungan Uji Distribusi Hujan

Uji distribusi probabilitas dimaksudkan untuk mengetahui apakah persamaan distribusi probabilitas yang dipilih dapat mewakili distribusi statistik data yang dianalisis.

Pada uji ini digunakan 2 metode uji distribusi yaitu Metode *Chi Square* (χ^2) dan metode Smirnov-Kolmogorof. Berikut hasil perhitungan dari kedua metode :

- **Metode Chi-Square (χ^2)**

Persamaan yang digunakan pada perhitungan Uji Chi Square adalah sebagai berikut :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_f - E_f)^2}{E_f}$$

Banyak data (n) = 10

T r f i gnifik n α = 5%

Jumlah Sub Kelompok (G) = $1 + 3.3 \text{ Log } n$

= $1 + 3.3 \text{ Log } 10$

= $\approx \text{Ke } 1 \text{ s}$

Parameter (p) = 2

Derajat Kebebasan (Dk) = $K - (p+1)$

= $5 - (2+1) = 2$

Nilai χ^2_{Cr} dengan jumlah data n, α % dan Dk adalah

5.9910 (berdasarkan **Tabel Lampiran A.7**)

Perhitungan kelas distribusi

Kelas distribusi = $\frac{1}{5} \times 100\% = 20\%$

Sehingga terbagi menjadi : 20%; 40%; 60%; 80%

> Persentase 20%

$T = \frac{1}{5} \times 10 = 2 \text{ tahun}$

> Persentase 40%

$T = \frac{2}{5} \times 10 = 4 \text{ tahun}$

> Persentase 60%

$T = \frac{3}{5} \times 10 = 6 \text{ tahun}$

> Persentase 80%

$T = \frac{4}{5} \times 10 = 8 \text{ tahun}$

Perhitungan interval kelas

> **Distribusi Normal**

Nilai K_T berdasarkan nilai T pada **Tabel 5.23**

Dengan nilai :

$$\bar{x} = 84.79$$

$$S = 22.26$$

$$X_T = \bar{x} + K_T \cdot S$$

Berikut hasil perhitungan nilai X_T .

Tabel 5.34 Hasil Perhitungan interval nilai X_T

No.	Persentase	Nilai T	K_T	X_T
1	20%	5	0.84	103.49
2	40%	2.5	0.25	90.36
3	60%	1.667	-0.25	79.23
4	80%	1.25	-0.84	66.10

Sumber : Hasil Analisa (2014)

Tabel 5.35 Hasil perhitungan χ^2 Hitung distribusi Normal

No.	Interval Kelas	Ef	Of	Of - Ef	($\frac{(Of - Ef)^2}{Ef}$)
1	> 103.49	2	3	1	0.500
2	90.36 - 103.49	2	1	-1	0.500
3	79.23 - 90.36	2	2	0	0.000
4	66.10 - 79.23	2	1	-1	0.500
5	< 66.10	2	3	1	0.500
		Jumlah	10	Nilai Hitung χ^2	2.000

Sumber : Hasil Analisa (2014)

> **Distribusi Gumbel**

Nilai K berdasarkan nilai T pada perhitungan dibawah ini :

Dengan nilai :

$$n = 10$$

$$\bar{x} = 84.79$$

$$S = 22.26$$

$$S_n = 0.4952$$

$$Y_n = 0.9497$$

$$Y_t = -\ln -\ln \frac{T}{T}$$

$$K = \frac{t^n}{n}$$

$$X_T = \frac{K}{n}$$

Berikut hasil perhitungan nilai X_T .

Tabel 5.36 Hasil perhitungan interval nilai X_T Distribusi Gumbel

No.	Persentase	Nilai T	Y_t	K	X_T
1	20%	5	1.500	1.0580	108.3386
2	40%	2.5	0.672	0.1859	88.9289
3	60%	1.667	0.087	-0.4294	75.2353
4	80%	1.25	-0.476	-1.0225	62.0338

Sumber : Hasil Analisa (2014)

Tabel 5.37 Hasil perhitungan χ^2 Hitung distribusi Gumbel

No.	Interval Kelas	Ef	Of	Of - Ef	()
1	> 108.338	2	2	0	0.000
2	88.92 - 108.338	2	2	0	0.000
3	75.23 - 88.92	2	2	0	0.000
4	62.03 - 75.23	2	2	0	0.000
5	< 62.03	2	2	0	0.000
		Jumlah	10	Nilai Hitung χ^2	0.000

Sumber : Hasil Analisa (2014)

> **Distribusi Log Pearson Tipe III**

Nilai K_T dihitung berdasarkan nilai C_s atau $G = -0.225$. Nilai T untuk berbagai periode ulang berdasarkan nilai T pada **Tabel Lampiran A.11**.

Perhitungan dihitung berdasarkan nilai :

$$\overline{\text{Log } X} = 1.91$$

$$S \text{ Log } X = 0.12$$

$$\text{Log } X_T = \overline{\text{Log}} - K_T \cdot \text{Log}$$

Tabel 5.38 Hasil perhitungan interval nilai X_T Distribusi Log Pearson III

No.	Persentase	Nilai T	Y_t	K_T	$\text{Log } X_T$	X_T
1	20%	5	1.500	0.8379	2.0131	103.0709
2	40%	2.5	0.672	0.1299	1.9296	85.0343
3	60%	1.667	0.087	-0.1061	1.9017	79.7529
4	80%	1.25	-0.476	-0.2241	1.8878	77.2366

Sumber : Hasil Analisa (2014)

Tabel 5.39 Hasil perhitungan χ^2 Hitung distribusi Log Pearson III

No.	Interval Kelas	Ef	Of	Of - Ef	()
1	> 103.07	2	3	1	0.500
2	85.034 - 103.07	2	3	1	0.500
3	79.75 - 85.034	2	0	-2	2.000
4	77.23 - 79.75	2	0	-2	2.000
5	< 77.23	2	4	2	2
		Jumlah	10	Nilai Hitung X^2	7.000

Sumber : Hasil Analisa (2014)

> Rekapirulasi Hasil Perhitungan Uji Chi Square

Berikut rekapitulasi hasil perhitungan uji Chi Square :

Tabel 5.40 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Uji Chi-Square Sub Sub DAS 1

No.	Nama Distribusi	χ^2 Hitung	χ^2 Cr	Syarat	Kesimpulan
1	Normal	2.000	5.991	$X^2 < X^2_{cr}$	Diterima
2	Gumbel	0.000	5.991	$X^2 < X^2_{cr}$	Diterima
3	Log Pearson III	7.000	5.991	$X^2 > X^2_{cr}$	Ditolak

Sumber : Hasil Analisa (2014)

- Metode Smirnov-Kolmogorof

Metode uji statistik Smirnov-Kolmogorof digunakan untuk menentukan distribusi curah hujan yang sesuai, berikut perhitungan dari masing-masing distribusi :

Tabel 5.41 Hasil pengurutan data Xi sub sub DAS 1

No.	Xi	Xi (diurutkan)	Log Xi (diurutkan)
1	106.67	116.41	2.06
2	116.41	110.20	2.04
3	67.72	106.67	2.02
4	95.34	95.34	1.97
5	61.00	86.01	1.93
6	53.76	86.01	1.93
7	86.01	67.72	1.83
8	86.01	64.81	1.81
9	64.81	61.00	1.78
10	110.20	53.76	1.73

Sumber : Hasil Analisa (2014)

Perhitungan Peluang Empiris

Perhitungan ini menggunakan pers. m. n “Weidbull”,

$$P(X_i) = \frac{n+1}{i}$$

Dimana :

n = Jumlah Data

i = Nomor urut data

> **Distribusi Normal**

Metode Perhitungan :

- Kolom [1] = Nomor urut data
- Kolom [2] = Data yang telah diurutkan (besar → kecil)
- Kolom [3] = Peluang empiris (dihitung berdasarkan perumus n „Weidbull”)

- Kolom [4] = Untuk distribusi Normal
 $\frac{1}{n} - K_T$, sehingga

= $K_T - \frac{1}{n}$, dimana $K_T = f(t)$

- Kolom [5] = Peluang Teoritis

1 – Luas dibawah kurva normal sesuai dengan nilai $f(t)$, yang ditentukan dengan Tabel 2.....

- Kolom [6] = $[\Delta_i] = \text{Kolom [5]} - \text{Kolom [3]}$

- Prasyarat = Jik $\Delta_{\text{Max}} < \Delta_{\text{Kritis}}$ maka hasil uji dapat **diterima**

Tabel 5.42 Hasil perhitungan nilai AP_{Hitung} Distribusi Normal

No.	Xi	P(Xi)	f(t)	Luas dibawah Kurva Normal	P'()	ΔP
1	2	3	4		6	7
1	127.82	0.091	2.075	0.9812	0.019	-0.072
2	99.36	0.182	0.537	0.7054	0.295	0.113
3	95.49	0.273	0.328	0.6293	0.371	0.098
4	92.91	0.364	0.188	0.5753	0.425	0.061
5	90.52	0.455	0.059	0.5239	0.476	0.022
6	86.66	0.545	-0.150	0.4404	0.560	0.014
7	85.72	0.636	-0.200	0.4207	0.579	-0.057
8	81.86	0.727	-0.409	0.3409	0.659	-0.068
9	80.57	0.818	-0.479	0.3156	0.684	-0.134
10	53.37	0.909	-1.949	0.0256	0.974	0.065
					MAX	0.113

Sumber : Hasil Analisa (2014)

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai $AP_{\text{Max}} = 0.113 < AP_{\text{Kritis}} = 0.41$, maka hasil distribusi dapat **diterima**.

> **Distribusi Gumbel**

Metode Perhitungan :

- Kolom [1] = Nomor urut data

- Kolom [2] = Data yang telah diurutkan (besar → kecil)

- Kolom [3] = Peluang empiris (dihitung berdasarkan perumus n „Weidbull“

- Kolom [4] = Untuk distribusi Normal

$$T - K_T$$
, sehingga

$$= K_T - \frac{T - K_T}{n}, \text{ dimana } K_T = f(t)$$

- Kolom [5] = Nilai pada kolom ini ditentukan berdasarkan nilai
 Y_n , S_n dan K atau $f(t)$ pada persamaan

$$K = \frac{T - n}{n}$$

$$Y_t = -Ln - Ln \frac{T - n}{T}$$

Dari persamaan diatas maka diperoleh nilai T .

$$= \frac{1}{T}$$

- Kolom [6] = $[\Delta_i] = \text{Kolom [5]} - \text{Kolom [3]}$

- Prasyarat = Jika $\Delta_{\text{Max}} < \Delta_{\text{Kritis}}$ maka hasil uji dapat
diterima

Tabel 5.43 Hasil perhitungan nilai AP_{Hitung} Distribusi Gumbel

No.	X_i	$P(X_i)$	$f(t)$	Y_t	T	$P'(\)$	ΔP
1	2	3	4			5	6
Diketahui : $Y_n = 0.459$; $S_n = 0.950$							
1	127.820	0.091	2.075	2.466	13.002	0.077	-0.014
2	99.361	0.182	0.537	1.005	3.273	0.306	0.124
3	95.492	0.273	0.328	0.807	2.813	0.355	0.083
4	92.906	0.364	0.188	0.674	2.506	0.399	0.035
5	90.519	0.455	0.059	0.551	2.304	0.434	-0.020
6	86.655	0.545	-0.150	0.353	1.984	0.504	-0.042
7	85.721	0.636	-0.200	0.305	1.928	0.519	-0.118
8	81.865	0.727	-0.409	0.107	1.694	0.590	-0.137
9	80.572	0.818	-0.479	0.041	1.629	0.614	-0.204
10	53.369	0.909	-1.949	-1.356	1.026	0.975	0.065
						Max	0.124

Sumber : Hasil Analisa (2014)

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai $AP_{\text{Max}} = 0.124 < AP_{\text{Kritis}}$
 $= 0.41$, maka hasil distribusi dapat **diterima**.

> **Distribusi Log Pearson III**

Metode Perhitungan :

- Kolom [1] = Nomor urut data
- Kolom [2] = Gunakan data Log Xi yang telah diurutkan (besar → kecil)
- Kolom [3] = Peluang empiris (dihitung berdasarkan perumus n „Weidbull“)
- Kolom [4] = Untuk distribusi Normal

$$\text{Log } T - \frac{\text{Log } K_T}{\text{Log } X} \text{ Log } X, \text{ sehingga}$$

$$= K_T \frac{\text{Log } T - \text{Log } K_T}{\text{Log } X}, \text{ dimana } K_T = f(t)$$
- Kolom [5] = Nilai pada kolom ini ditentukan berdasarkan nilai CS dan nilai K_T .
- Kolom [6] = $[\Delta_i] = \text{Kolom [5]} - \text{Kolom [3]}$
- Prasyarat = Jik $\Delta_{\text{Max}} < \Delta_{\text{Kritis}}$ maka hasil uji dapat **diterima**

Tabel 5.44 Hasil perhitungan nilai AP_{Hitung} Distribusi Log Pearson III

No.	Log Xi (<i>Diurutkan</i>)	P(Xi)	f(t)	P'()	ΔP
1	2	3	4	5	6
1	2.107	0.091	1.731	0.003	-0.088
2	1.997	0.182	0.576	0.296	0.114
3	1.980	0.273	0.394	0.377	0.104
4	1.968	0.364	0.269	0.438	0.074
5	1.957	0.455	0.149	0.500	0.045
6	1.938	0.545	-0.051	0.613	0.067
7	1.933	0.636	-0.100	0.643	0.006
8	1.913	0.727	-0.311	0.777	0.050
9	1.906	0.818	-0.384	0.827	0.008
10	1.727	0.909	-2.273	2.627	1.718
				MAX	1.718

Sumber : Hasil Analisa (2014)

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai $AP_{\text{Max}} = 1.718 < AP_{\text{Kritis}} = 0.41$, maka hasil distribusi dapat **ditolak**.

> **Rekapitulasi Hasil Uji Smirnov-Kolmogorof**

Berikut hasil rekapitulasi hasil perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorof pada sub sub DAS 1 (SSD Karang Mumus Hulu).

Tabel 5.45 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorof

No.	Distribusi	Parameter Uji		Hasil
		α	ΔP_{Max}	
1	Normal	0.41	0.113	Diterima
2	Gumbel	0.41	0.124	Diterima
3	Log Pearson III	0.41	1.718	Ditolak

Sumber : Hasil Analisa (2014)

5.1.1.4 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Uji Distribusi Curah Hujan Rencana

Berdasarkan metode perhitungan pada sub Bab sebelumnya (Sub Bab 4.2.2), maka hasil perhitungan hujan rencana pada seluruh Subsub DAS Karang Mumus akan disajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut :

Tabel 5.46 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Uji Chi Square

No.	Sub Sub DAS	Distribusi	Parameter Uji		Hasil
			χ^2_{Hitung}	χ^2_{Cr}	
1	SSD Karang Mumus Hulu	Normal	3	5.991	Diterima
		Gumbel	6	5.991	Ditolak
		Log Pearson III	5	5.991	Diterima
2	SSD Pampang Kiri Hulu	Normal	3	5.991	Diterima
		Gumbel	6	5.991	Ditolak
		Log Pearson III	5	5.991	Diterima
3	SSD Pampang Kiri Hilir	Normal	3	5.991	Diterima
		Gumbel	6	5.991	Ditolak
		Log Pearson III	7	5.991	Ditolak
4	SSD Pampang Kanan	Normal	3	5.991	Diterima
		Gumbel	3	5.991	Diterima
		Log Pearson III	3	5.991	Diterima
5	SSD Lubang Putang	Normal	6	5.991	Ditolak
		Gumbel	7.5	5.991	Ditolak
		Log Pearson III	13	5.991	Ditolak

No.	Sub Sub DAS	Distribusi	Parameter Uji		Hasil
			χ^2_{Hitung}	χ^2_{Cr}	
6	SSD Lantung	Normal	2	5.991	Diterima
		Gumbel	2	5.991	Diterima
		Log Pearson III	4	5.991	Diterima
7	SSD Siring	Normal	3	5.991	Diterima
		Gumbel	3	5.991	Diterima
		Log Pearson III	9	5.991	Ditolak
8	SSD Selindung	Normal	2	5.991	Diterima
		Gumbel	2	5.991	Diterima
		Log Pearson III	4	5.991	Diterima
9	SSD Tanah Merah	Normal	2	5.991	Diterima
		Gumbel	0	5.991	Diterima
		Log Pearson III	7	5.991	Ditolak
10	SSD Binangat	Normal	2	5.991	Diterima
		Gumbel	0	5.991	Diterima
		Log Pearson III	7	5.991	Ditolak
11	SSD Muang	Normal	3	5.991	Diterima
		Gumbel	5	5.991	Diterima
		Log Pearson III	6	5.991	Ditolak
12	SSD Bayur	Normal	3	5.991	Diterima
		Gumbel	5	5.991	Diterima
		Log Pearson III	6	5.991	Ditolak
13	SSD Benanga	Normal	3	5.991	Diterima
		Gumbel	1	5.991	Diterima
		Log Pearson III	4	5.991	Diterima
14	SSD Betapus	Normal	5	5.991	Diterima
		Gumbel	5	5.991	Diterima
		Log Pearson III	11	5.991	Ditolak
15	SSD Lampake	Normal	2	5.991	Diterima
		Gumbel	0	5.991	Diterima
		Log Pearson III	7	5.991	Ditolak
16	SSD Bangkuring	Normal	2	5.991	Diterima
		Gumbel	0	5.991	Diterima
		Log Pearson III	7	5.991	Ditolak
17	SSD Lingai	Normal	2	5.991	Diterima
		Gumbel	0	5.991	Diterima
		Log Pearson III	7	5.991	Ditolak
18	SSD Mugirejo	Normal	2	5.991	Diterima
		Gumbel	0	5.991	Diterima
		Log Pearson III	7	5.991	Ditolak
19	SSD Sempaja	Normal	5	5.991	Diterima
		Gumbel	1	5.991	Diterima
		Log Pearson III	5	5.991	Diterima

No.	Sub Sub DAS	Distribusi	Parameter Uji		Hasil
			χ^2_{Hitung}	χ^2_{Cr}	
20	SSD Karang Mumus Hilir	Normal	2	5.991	Diterima
		Gumbel	0	5.991	Diterima
		Log Pearson III	7	5.991	Ditolak

Sumber : Hasil Analisa (2014)

Tabel 5.47 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorof

No.	Sub Sub DAS	Distribusi	Parameter Uji		Hasil
			ΔP_{Max}	α	
1	SSD Karang Mumus Hulu	Normal	0.1128	0.41	Diterima
		Gumbel	0.1238	0.41	Diterima
		Log Pearson III	1.7177	0.41	Ditolak
2	SSD Pampang Kiri Hulu	Normal	0.1094	0.41	Diterima
		Gumbel	0.1206	0.41	Diterima
		Log Pearson III	1.7257	0.41	Ditolak
3	SSD Pampang Kiri Hilir	Normal	0.1484	0.41	Diterima
		Gumbel	0.0969	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.0836	0.41	Diterima
4	SSD Pampang Kanan	Normal	0.1125	0.41	Diterima
		Gumbel	0.0701	0.41	Diterima
		Log Pearson III	1.6325	0.41	Ditolak
5	SSD Lubang Putang	Normal	0.1203	0.41	Diterima
		Gumbel	0.1395	0.41	Diterima
		Log Pearson III	1.4692	0.41	Ditolak
6	SSD Lantung	Normal	0.0768	0.41	Diterima
		Gumbel	0.0557	0.41	Diterima
		Log Pearson III	1.5166	0.41	Ditolak
7	SSD Siring	Normal	0.1869	0.41	Diterima
		Gumbel	0.0882	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.3153	0.41	Diterima
8	SSD Selindung	Normal	0.1403	0.41	Diterima
		Gumbel	0.0749	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.1301	0.41	Diterima
9	SSD Tanah Merah	Normal	0.1357	0.41	Diterima
		Gumbel	0.1781	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.7210	0.41	Ditolak
10	SSD Binangat	Normal	0.1459	0.41	Diterima
		Gumbel	0.0851	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.4877	0.41	Ditolak
11	SSD Muang	Normal	0.1563	0.41	Diterima

No.	Sub Sub DAS	Distribusi	Parameter Uji		Hasil
			ΔP_{Max}	α	
		Gumbel	0.1027	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.1819	0.41	Diterima
		Normal	0.1563	0.41	Diterima
12	SSD Bayur	Gumbel	0.1027	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.0646	0.41	Diterima
		Normal	0.1710	0.41	Diterima
13	SSD Benanga	Gumbel	0.1031	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.2045	0.41	Diterima
		Normal	0.1530	0.41	Diterima
14	SSD Betapus	Gumbel	0.1031	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.2789	0.41	Diterima
		Normal	0.1340	0.41	Diterima
15	SSD Lampake	Gumbel	0.0708	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.7210	0.41	Ditolak
		Normal	0.1430	0.41	Diterima
16	SSD Bangkuring	Gumbel	0.0801	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.5708	0.41	Ditolak
		Normal	0.1340	0.41	Diterima
17	SSD Lingai	Gumbel	0.0708	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.7210	0.41	Ditolak
		Normal	0.1340	0.41	Diterima
18	SSD Mugirejo	Gumbel	0.0708	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.7210	0.41	Ditolak
		Normal	0.1659	0.41	Diterima
19	SSD Sempaja	Gumbel	0.1107	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.2449	0.41	Diterima
		Normal	0.1340	0.41	Diterima
20	SSD Karang Mumus Hilir	Gumbel	0.0708	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.7210	0.41	Ditolak
		Normal	0.1340	0.41	Diterima

Sumber : Hasil Analisa (2014)

Tabel 5.48 Rekapitulasi Hasil Uji Chi-Square dan Smirnov-Kolmogorof

No.	Sub Sub DAS	Distribusi	Hasil Uji	
			Chi Square	Smirnov - Kolmogorof
1	SSD Karang Mumus Hulu	Normal	Diterima	Diterima
		Gumbel	Ditolak	Diterima
		Log Pearson III	Diterima	Ditolak
2	SSD Pampang Kiri Hulu	Normal	Diterima	Diterima

No.	Sub Sub DAS	Distribusi	Hasil Uji	
			Chi Square	Smirnov - Kolmogorof
3	SSD Pampang Kiri Hilir	Gumbel	Ditolak	Diterima
		Log Pearson III	Diterima	Ditolak
		Normal	Diterima	Diterima
4	SSD Pampang Kanan	Gumbel	Ditolak	Diterima
		Log Pearson III	Ditolak	Diterima
		Normal	Diterima	Diterima
5	SSD Lubang Putang	Gumbel	Ditolak	Diterima
		Log Pearson III	Ditolak	Ditolak
		Normal	Diterima	Diterima
6	SSD Lantung	Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Diterima	Ditolak
		Normal	Diterima	Diterima
7	SSD Siring	Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Ditolak	Diterima
		Normal	Diterima	Diterima
8	SSD Selindung	Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Diterima	Diterima
		Normal	Diterima	Diterima
9	SSD Tanah Merah	Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Ditolak	Ditolak
		Normal	Diterima	Diterima
10	SSD Binangat	Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Ditolak	Ditolak
		Normal	Diterima	Diterima
11	SSD Muang	Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Ditolak	Diterima
		Normal	Diterima	Diterima
12	SSD Bayur	Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Ditolak	Diterima
		Normal	Diterima	Diterima
13	SSD Benanga	Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Diterima	Diterima
		Normal	Diterima	Diterima
14	SSD Betapus	Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Ditolak	Diterima
		Normal	Diterima	Diterima
15	SSD Lampake	Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Ditolak	Ditolak
		Normal	Diterima	Diterima

No.	Sub Sub DAS	Distribusi	Hasil Uji	
			Chi Square	Smirnov - Kolmogorof
16	SSD Bangkuring	Normal	Diterima	Diterima
		Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Ditolak	Ditolak
17	SSD Lingai	Normal	Diterima	Diterima
		Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Ditolak	Ditolak
18	SSD Mugirejo	Normal	Diterima	Diterima
		Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Ditolak	Ditolak
19	SSD Sempaja	Normal	Diterima	Diterima
		Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Diterima	Diterima
20	SSD Karang Mumus Hilir	Normal	Diterima	Diterima
		Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Ditolak	Ditolak

Sumber : Hasil Analisa, 2014

Tabel 5.49 Rekapitulasi Hasil Distribusi Hujan Terpilih

No.	Sub Sub DAS	Nama Distribusi Terpilih
1	SSD Karang Mumus Hulu	Normal
2	SSD Pampang Kiri Hulu	Normal
3	SSD Pampang Kiri Hilir	Normal
4	SSD Pampang Kanan	Gumbel
5	SSD Lubang Putang	Gumbel
6	SSD Lantung	Gumbel
7	SSD Siring	Gumbel
8	SSD Selindung	Gumbel
9	SSD Tanah Merah	Gumbel
10	SSD Binangat	Gumbel
11	SSD Muang	Gumbel
12	SSD Bayur	Gumbel
13	SSD Benanga	Gumbel
14	SSD Betapus	Gumbel
15	SSD Lampake	Gumbel
16	SSD Bangkuring	Gumbel
17	SSD Lingai	Gumbel

18	SSD Mugirejo	Gumbel
19	SSD Sempaja	Gumbel
20	SSD Karang Mumus Hilir	Gumbel

Sumber : Hasil Analisa (2014)

5.1.2 Perhitungan Hujan Jam-jam'an

Perhitungan hujan jam-jaman digunakan untuk mentransformasikan curah hujan rencana mejadi debit banjir rencana. Dalam perhitungan hujan jam-jaman, penelitian ini menggunakan distribusi hujan dengan durasi 6 jam menggunakan perumusan Manonobe.

Prosentase distribusi yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan Manonobe sebagai berikut (Sosrodarsono, 2006) :

$$R_t = \frac{R_{24}}{T} \left(\frac{T}{t} \right)^{1/t_c}$$

Dimana :

R_t = Rerata hujan dari awal sampai jam ke-t (mm/jam)

t_c = Waktu konsentrasi hujan

R_{24} = Curah Hujan Maksimum dalam 24 jam

T = Durasi Hujan

A. Perhitungan Curah Hujan Rata-rata Selama T Jam

Untuk waktu hujan dengan durasi $T = 6$ jam, maka :

$$T = 1 \text{ Jam} \rightarrow R_T = \frac{R_{24}}{T} \left(\frac{T}{t} \right)^{1/t_c} = 0.550R_{24}$$

$$T = 1 \text{ Jam} \rightarrow R_T = \frac{R_{24}}{T} \left(\frac{T}{t} \right)^{1/t_c} = 0.346R_{24}$$

$$T = 1 \text{ Jam} \rightarrow R_T = \frac{R_{24}}{T} \left(\frac{T}{t} \right)^{1/t_c} = 0.264R_{24}$$

$$T = 1 \text{ Jam} \rightarrow R_T = \frac{R_{24}}{T} \left(\frac{T}{t} \right)^{1/t_c} = 0.218R_{24}$$

$$T = 1 \text{ Jam} \rightarrow R_T = \frac{R_{24}}{T} \left(\frac{T}{t} \right)^{1/t_c} = 0.188R_{24}$$

$$T = 1 \text{ Jam} \rightarrow R_T = \frac{R_{24}}{T} \left(\frac{T}{t} \right)^{1/t_c} = 0.166R_{24}$$

B. Perhitungan Curah Hujan Rata-rata pada t Jam

Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\overline{R}_T = \frac{R_T}{T} - \frac{R_{(T-1)}}{(T-1)}$$

Dimana :

\overline{R}_T = Rata-rata hujan sampai jam ke-T (mm)

R_T = Tinggi hujan sampai jam ke-T (mm)

T = Waktu lamanya hujan

$R_{(T-1)}$ = Rata-rata curah hujan awal sampai jam ke-(T-1)

Hasil perhitungan distribusi curah hujan :

$T = 1$ Jam

$$\overline{R}_T = \frac{R_T}{T} - \left(\frac{R_{(T-1)}}{(T-1)} \right) \\ = \frac{1}{1} - \left(\frac{0}{0} \right) \\ = 1 \approx 100\%$$

$T = 2$ Jam

$$\overline{R}_T = \frac{R_T}{T} - \left(\frac{R_{(T-1)}}{(T-1)} \right) \\ = \frac{2}{2} - \left(\frac{1}{1} \right) \\ = 0 \approx 0\%$$

$T = 3$ Jam

$$\overline{R}_T = \frac{R_T}{T} - \left(\frac{R_{(T-1)}}{(T-1)} \right) \\ = \frac{3}{3} - \left(\frac{2}{2} \right) \\ = 0 \approx 0\%$$

$T = 4$ Jam

$$\overline{R}_T = \frac{R_T}{T} - \left(\frac{R_{(T-1)}}{(T-1)} \right) \\ = \frac{4}{4} - \left(\frac{3}{3} \right) \\ = 0 \approx 0\%$$

$T = 5$ Jam

$$\overline{R}_T = \frac{R_T}{T} - \left(\frac{R_{(T-1)}}{(T-1)} \right) \\ = \frac{5}{5} - \left(\frac{4}{4} \right) \\ = 0 \approx 0\%$$

$$\frac{T}{T} = \frac{6 \text{ Jam}}{6 \text{ Jam}} - \left(- \right) \cdot 0.188$$

$$= \approx \%$$

Tabel 5.50 Rekapitulasi Hasil Pola Distribusi Hujan Jam-jam'an

No.	Waktu (T)	RT	
	Jam	(mm/jam)	%
1	1	0.550	55.0
2	2	0.347	14.2
3	3	0.265	10.0
4	4	0.218	8.00
5	5	0.188	6.80
6	6	0.167	5.60

Sumber : Hasil Analisa (2014)

Tabel 5.51 Distribusi Hujan Jam-jam'an pada Subsub DAS

No.	Subsub DAS	Hujan Rencana	Periode Ulang	Hujan Jam-jam'an					
		R ₂₄		0 - 1 Jam	1 - 2 Jam	2 - 3 Jam	3 - 4 Jam	4 - 5 Jam	5 - 6 Jam
		(mm)	Tahun	1	2	3	4	5	6
	SSD Karang Mumus Hulu	2	89.43	49.19	31.03	23.70	19.50	16.81	14.93
		5	104.97	57.73	36.42	27.82	22.88	19.73	17.53
		10	113.11	62.21	39.25	29.97	24.66	21.26	18.89
		20	119.77	65.87	41.56	31.74	26.11	22.52	20.00
		50	127.35	70.04	44.19	33.75	27.76	23.94	21.27
		100	132.53	72.89	45.99	35.12	28.89	24.92	22.13
	SSD Pampang Kiri Hulu	2	89.06	48.98	30.90	23.60	19.42	16.74	14.87
		5	104.52	57.49	36.27	27.70	22.79	19.65	17.45
		10	112.62	61.94	39.08	29.84	24.55	21.17	18.81
		20	119.24	65.58	41.38	31.60	26.00	22.42	19.91
		50	126.79	69.73	44.00	33.60	27.64	23.84	21.17
		100	131.94	72.57	45.78	34.96	28.76	24.81	22.03

No.	Subsub DAS	Hujan Rencana	Periode Ulang	Hujan Jam-jam'an					
		R ₂₄		0 - 1 Jam	1 - 2 Jam	2 - 3 Jam	3 - 4 Jam	4 - 5 Jam	5 - 6 Jam
		(mm)	Tahun	1	2	3	4	5	6
	SSD Pampang Kiri Hilir	2	81.90	45.04	28.42	21.70	17.85	15.40	13.68
		5	88.64	48.75	30.76	23.49	19.32	16.66	14.80
		10	92.16	50.69	31.98	24.42	20.09	17.33	15.39
		20	95.05	52.28	32.98	25.19	20.72	17.87	15.87
		50	98.34	54.09	34.12	26.06	21.44	18.49	16.42
		100	100.59	55.32	34.90	26.66	21.93	18.91	16.80
	SSD Pampang Kanan	2	73.99	40.70	25.67	19.61	16.13	13.91	12.36
		5	93.25	51.29	32.36	24.71	20.33	17.53	15.57
		10	106.01	58.30	36.78	28.09	23.11	19.93	17.70
		20	118.24	65.03	41.03	31.33	25.78	22.23	19.75
		50	134.07	73.74	46.52	35.53	29.23	25.21	22.39
		100	145.94	80.27	50.64	38.67	31.81	27.44	24.37
	SSD Lubang Putang	2	73.93	40.66	25.65	19.59	16.12	13.90	12.35
		5	82.39	45.31	28.59	21.83	17.96	15.49	13.76
		10	87.99	48.39	30.53	23.32	19.18	16.54	14.69
		20	93.36	51.35	32.40	24.74	20.35	17.55	15.59
		50	100.31	55.17	34.81	26.58	21.87	18.86	16.75
		100	105.52	58.04	36.62	27.96	23.00	19.84	17.62
	SSD Lantung	2	60.35	33.19	20.94	15.99	13.16	11.35	10.08
		5	78.40	43.12	27.20	20.78	17.09	14.74	13.09
		10	90.35	49.69	31.35	23.94	19.70	16.99	15.09
		20	101.81	56.00	35.33	26.98	22.20	19.14	17.00
		50	116.65	64.16	40.48	30.91	25.43	21.93	19.48
		100	127.77	70.27	44.34	33.86	27.85	24.02	21.34
	SSD Siring	2	68.81	37.85	23.88	18.24	15.00	12.94	11.49
		5	77.51	42.63	26.90	20.54	16.90	14.57	12.94
		10	83.27	45.80	28.89	22.07	18.15	15.65	13.91
		20	88.79	48.84	30.81	23.53	19.36	16.69	14.83
		50	95.94	52.77	33.29	25.43	20.92	18.04	16.02

No.	Subsub DAS	Hujan Rencana	Periode Ulang	Hujan Jam-jam'an					
		R ₂₄		0 - 1 Jam	1 - 2 Jam	2 - 3 Jam	3 - 4 Jam	4 - 5 Jam	5 - 6 Jam
		(mm)	Tahun	1	2	3	4	5	6
	SSD Selindung	100	101.30	55.72	35.15	26.84	22.08	19.04	16.92
		2	62.42	34.33	21.66	16.54	13.61	11.74	10.42
		5	84.72	46.60	29.40	22.45	18.47	15.93	14.15
		10	99.48	54.72	34.52	26.36	21.69	18.70	16.61
		20	113.64	62.50	39.43	30.12	24.77	21.36	18.98
		50	131.97	72.59	45.79	34.97	28.77	24.81	22.04
	SSD Tanah Merah	100	145.71	80.14	50.56	38.61	31.76	27.39	24.33
		2	86.09	47.35	29.87	22.81	18.77	16.18	14.38
		5	113.94	62.67	39.54	30.20	24.84	21.42	19.03
		10	132.39	72.81	45.94	35.08	28.86	24.89	22.11
		20	150.08	82.54	52.08	39.77	32.72	28.22	25.06
		50	172.98	95.14	60.02	45.84	37.71	32.52	28.89
	SSD Binangat	100	190.14	104.58	65.98	50.39	41.45	35.75	31.75
		2	80.93	44.51	28.08	21.45	17.64	15.21	13.51
		5	106.89	58.79	37.09	28.32	23.30	20.09	17.85
		10	124.07	68.24	43.05	32.88	27.05	23.33	20.72
		20	140.56	77.31	48.77	37.25	30.64	26.43	23.47
		50	161.90	89.05	56.18	42.90	35.29	30.44	27.04
	SSD Muang	100	177.89	97.84	61.73	47.14	38.78	33.44	29.71
		2	81.36	44.75	28.23	21.56	17.74	15.30	13.59
		5	91.02	50.06	31.58	24.12	19.84	17.11	15.20
		10	97.41	53.58	33.80	25.81	21.24	18.31	16.27
		20	103.55	56.95	35.93	27.44	22.57	19.47	17.29
		50	111.48	61.32	38.68	29.54	24.30	20.96	18.62
	SSD Bayur	100	117.43	64.59	40.75	31.12	25.60	22.08	19.61
		2	81.36	44.75	28.23	21.56	17.74	15.30	13.59
		5	91.02	50.06	31.58	24.12	19.84	17.11	15.20
		10	97.41	53.57	33.80	25.81	21.23	18.31	16.27
		20	103.54	56.95	35.93	27.44	22.57	19.47	17.29

No.	Subsub DAS	Hujan Rencana	Periode Ulang	Hujan Jam-jam'an					
		R ₂₄		0 - 1 Jam	1 - 2 Jam	2 - 3 Jam	3 - 4 Jam	4 - 5 Jam	5 - 6 Jam
		(mm)	Tahun	1	2	3	4	5	6
	SSD Benanga	50	111.48	61.31	38.68	29.54	24.30	20.96	18.62
		100	117.43	64.58	40.75	31.12	25.60	22.08	19.61
		2	60.06	33.03	20.84	15.92	13.09	11.29	10.03
		5	82.69	45.48	28.69	21.91	18.03	15.55	13.81
		10	97.67	53.72	33.89	25.88	21.29	18.36	16.31
		20	112.04	61.62	38.88	29.69	24.42	21.06	18.71
		50	130.64	71.85	45.33	34.62	28.48	24.56	21.82
		100	144.58	79.52	50.17	38.31	31.52	27.18	24.14
	SSD Betapus	2	70.65	38.86	24.52	18.72	15.40	13.28	11.80
		5	78.27	43.05	27.16	20.74	17.06	14.71	13.07
		10	83.31	45.82	28.91	22.08	18.16	15.66	13.91
		20	88.14	48.48	30.59	23.36	19.22	16.57	14.72
		50	94.40	51.92	32.76	25.02	20.58	17.75	15.77
		100	99.09	54.50	34.39	26.26	21.60	18.63	16.55
	SSD Lampake	2	86.12	47.36	29.88	22.82	18.77	16.19	14.38
		5	113.99	62.69	39.55	30.21	24.85	21.43	19.04
		10	132.44	72.84	45.96	35.10	28.87	24.90	22.12
		20	150.13	82.57	52.10	39.79	32.73	28.23	25.07
		50	173.04	95.17	60.05	45.86	37.72	32.53	28.90
		100	190.21	104.62	66.00	50.41	41.47	35.76	31.77
	SSD Bangkuring	2	82.62	45.44	28.67	21.89	18.01	15.53	13.80
		5	109.18	60.05	37.89	28.93	23.80	20.53	18.23
		10	126.77	69.73	43.99	33.59	27.64	23.83	21.17
		20	143.64	79.00	49.84	38.07	31.31	27.01	23.99
		50	165.48	91.02	57.42	43.85	36.08	31.11	27.64
		100	181.85	100.02	63.10	48.19	39.64	34.19	30.37
	SSD Lingai	2	86.11	47.36	29.88	22.82	18.77	16.19	14.38
		5	113.98	62.69	39.55	30.20	24.85	21.43	19.03
		10	132.43	72.83	45.95	35.09	28.87	24.90	22.12

No.	Subsub DAS	Hujan Rencana	Periode Ulang	Hujan Jam-jam'an					
		R ₂₄		0 - 1 Jam	1 - 2 Jam	2 - 3 Jam	3 - 4 Jam	4 - 5 Jam	5 - 6 Jam
		(mm)	Tahun	1	2	3	4	5	6
		20	150.12	82.57	52.09	39.78	32.73	28.22	25.07
		50	173.03	95.17	60.04	45.85	37.72	32.53	28.90
		100	190.20	104.61	66.00	50.40	41.46	35.76	31.76
	SSD Mugirejo	2	86.06	47.33	29.86	22.81	18.76	16.18	14.37
		5	113.91	62.65	39.53	30.19	24.83	21.41	19.02
		10	132.35	72.79	45.92	35.07	28.85	24.88	22.10
		20	150.03	82.52	52.06	39.76	32.71	28.21	25.06
		50	172.93	95.11	60.01	45.83	37.70	32.51	28.88
		100	190.08	104.54	65.96	50.37	41.44	35.74	31.74
	SSD Sempaja	2	71.81	39.49	24.92	19.03	15.65	13.50	11.99
		5	94.94	52.22	32.95	25.16	20.70	17.85	15.86
		10	110.26	60.64	38.26	29.22	24.04	20.73	18.41
		20	124.96	68.73	43.36	33.11	27.24	23.49	20.87
		50	143.98	79.19	49.96	38.15	31.39	27.07	24.04
		100	158.23	87.03	54.91	41.93	34.49	29.75	26.42
	SSD Karang Mumus Hilir	2	86.09	47.35	29.87	22.81	18.77	16.18	14.38
		5	113.95	62.67	39.54	30.20	24.84	21.42	19.03
		10	132.39	72.82	45.94	35.08	28.86	24.89	22.11
		20	150.08	82.55	52.08	39.77	32.72	28.22	25.06
		50	172.99	95.14	60.03	45.84	37.71	32.52	28.89
		100	190.15	104.58	65.98	50.39	41.45	35.75	31.75

Sumber : Hasil Analisa 2014

5.1.3 Perhitungan Parameter Perhitungan Debit pada HEC-HMS

Pemodelan debit banjir rencana menggunakan bantuan software HEC-HMS 4.0. Dalam pemodelan ini digunakan metode pemodelan yaitu Metode SCS (*Soil Conservation Service*) *Unit Hydrograph Model*.

Pada proses pemodelan dibutuhkan nilai-nilai parameter tertentu sesuai dengan kebutuhan masing-masing metode, berikut perhitungan dari beberapa parameter tersebut :

Time Lag (Selang Waktu)

Untuk wilayah DAS yang tidak terukur, SCS menyarankan selang waktu Unit Hidrograf terkait dengan waktu konsentrasi (t_c), sebagai berikut :

$$t_{lag} = 0.6t_c$$

Waktu konsentrasi (t_c) adalah sebuah kuasi aspek fisik yang berdasarkan kepada parameter yang bisa diestimasi sebagai berikut :

$$t_c = t_{sheet} + t_{channel}$$

$$t_{sheet} = \frac{NL}{()}$$

$$t_{channel} = \frac{L}{W}$$

$$W = 20 \left(\frac{\Delta H}{L} \right)^{0.60}$$

dimana :

t_{sheet} = Jumlah waktu perjalan air dalam segmen aliran permukaan lahan suatu DAS

$t_{shallow}$ = jumlah waktu perjalanan air pada segmen aliran dangkal, pada jalanan, selokan, parit dangkal maupun anak sungai.

$t_{channel}$ = Jumlah waktu perjalan air pada segmen saluran

N = Koefisien Kekasaran Daerah Aliran
(Berdasarkan *Technical Refrence Manual* HEC-HMS, “Overland-flow roughness coefficients for sheet-flow modelling”,USACE 1998).

L = Panjang Aliran

P_2 = Hujan Rencana Periode Ulang 2 (dalam inci)

S = Slope (Kemiringan lahan)

W = Kecepatan Aliran (m/dt)

ΔH = Beda Tinggi titik terjauh aliran dan outlet sungai

Berikut contoh perhitungan pada Subsub DAS Karang Mumus

Hulu :

Diketahui :

Perhitungan t_{sheet}

N = 0.8 (Hutan)

L_{Sheet} = 334.147 m = 13155.37 Inch

P_2 = 89.427 mm = 3.514 Inci

El_{Hulu} = 110 m = 4330.7 Inci

El_{Hilir} = 74.5 m = 2933.065 Inci

ΔH_{Sheet} = 4330.7 Inci – 2933.065 Inci = 1397.635 Inci

$S = \frac{\Delta H}{L} = \frac{1397.635}{13155.37} = 0.106$

$t_{\text{sheet}} = \frac{NL}{()}$
 $= \frac{0.8 \times 13155.37}{()} = 27.910 \text{ menit} = 0.252 \text{ Jam}$

Perhitungan t_{channel}

L_{Channel} = 6796.115 m

El_{Hulu} = 74 m

El_{Hilir} = 9.928 m

$\Delta H_{\text{Channel}}$ = 74m – 9.928m = 64.072m

$W = 20 \left(\frac{\Delta H}{L} \right)^{0.60}$
 $= 20 \left(\frac{64.072}{6796.115} \right)^{0.60}$
 $= 5579.435 \text{ detik} = 6.474 \text{ Jam}$

$t_c = 0.252 + 6.474 \text{ Jam}$
 $= 6.726 \text{ Jam}$

Berikut rekapitulasi hasil perhitungan *Time Lag* masing-masing Subsub DAS :

Tabel 5.52 Hasil Perhitungan Waktu Konsentrasi (Lahan)

No.	Sub Sub DAS	Panjang Aliran Lahan (L_{Sheet}) (inci)	Elevasi Hulu (inci)	Elevasi Hilir (inci)	ΔH	Kemiringan Lahan (S_{Sheet})	Hujan Periode 2th (inci)	Koefisien Kekasaran Lahan (N)	t_{sheet} (menit) (jam)	
1	SSD Karang Mumus Hulu	13155.37	4330.70	2933.07	1397.64	0.11	3.515	0.800	15.115	0.252
2	SSD Pampang Kiri Hulu	19980.24	7874.00	4133.85	3740.15	0.19	3.500	0.400	9.689	0.161
3	SSD Pampang Kiri Hilir	19681.93	1968.50	905.51	1062.99	0.05	3.219	0.400	16.413	0.274
4	SSD Pampang Kanan	28621.83	2952.75	1968.50	984.25	0.03	2.908	0.400	27.910	0.465
5	SSD Lubang Putang	30834.31	6692.90	4921.25	1771.65	0.06	2.905	0.800	42.020	0.700
6	SSD Lantung	10480.14	4921.25	2795.27	2125.98	0.20	2.372	0.800	11.843	0.197
7	SSD Siring	787.40	2952.75	2913.38	39.37	0.05	2.704	0.240	0.935	0.016
8	SSD Selindung	10060.53	3543.30	2755.90	787.40	0.08	2.453	0.800	16.496	0.275
9	SSD Tanah Merah	9290.73	3543.30	2913.38	629.92	0.07	3.383	0.400	8.017	0.134
10	SSD Binangat	47026.17	2165.35	984.25	1181.10	0.03	3.180	0.240	29.917	0.499
11	SSD Muang	15749.85	6692.90	4763.77	1929.13	0.12	3.198	0.800	17.288	0.288
12	SSD Bayur	30435.65	8858.25	3425.19	5433.06	0.18	3.197	0.800	25.189	0.420
13A	SSD Benanga A	11713.76	2952.75	1062.99	1889.76	0.16	2.360	0.400	8.168	0.136
13B	SSD Benanga B	45878.25	1968.50	416.10	1552.40	0.03	2.360	0.400	45.476	0.758
13C	SSD Benanga C	33369.62	472.44	327.36	145.08	0.00	2.360	0.400	80.100	1.335
13D	SSD Benanga D	26283.41	275.59	256.30	19.29	0.00	2.360	0.400	134.811	2.247
14	SSD Betapus	58002.17	4409.44	1023.62	3385.82	0.06	2.777	0.400	40.668	0.678
15	SSD Lampake	10443.64	2755.90	1929.13	826.77	0.08	3.384	0.240	5.498	0.092
16	SSD Bangkuring	16245.64	2952.75	748.03	2204.72	0.14	3.247	0.240	6.443	0.107

No.	Sub Sub DAS	Panjang Aliran Lahan (L_{Sheet}) (inci)	Elevasi Hulu (inci)	Elevasi Hilir (inci)	ΔH	Kemiringan Lahan (S_{Sheet})	Hujan Periode 2th (inci)	Koefisien Kekasaran Lahan (N)	t_{sheet}	
									(menit)	(jam)
17	SSD Lingai	10833.01	1771.65	944.88	826.77	0.08	3.384	0.400	8.645	0.144
18	SSD Mugirejo	4840.54	1811.02	964.57	846.46	0.17	3.382	0.011	0.184	0.003
19	SSD Sempaja	20313.27	5905.50	2706.69	3198.81	0.16	2.822	0.400	11.717	0.195
20A	SSD Karang Mumus Hilir	2560.43	767.72	629.92	137.80	0.05	3.383	0.011	0.177	0.003
20B	SSD Karang Mumus Hilir	12603.71	1574.80	718.50	856.30	0.07	3.383	0.011	0.577	0.010
Sumber : Hasil Analisa (2014)										

Tabel 5.53 Hasil Perhitungan Waktu Konsentrasi (Sungai)

No.	Sub Sub DAS	Panjang Sungai ($L_{Channel}$) (inci)	Elevasi Hulu (inci)	Elevasi Hilir (inci)	ΔH (inci)	Kemiringan Sungai (S_{Sheet})	$T_{channel}$	
							(detik)	(jam)
1	SSD Karang Mumus Hulu	16551.450	74.500	11.007	63.493	0.004	23306.262	6.474
2	SSD Pampang Kiri Hulu	23418.700	105.000	11.417	93.583	0.004	32177.592	8.938
3	SSD Pampang Kiri Hilir	10095.920	23.000	7.372	15.628	0.002	24505.138	6.807
4	SSD Pampang Kanan	5127.000	50.000	10.513	39.487	0.008	4752.017	1.320
5	SSD Lubang Putang	11446.110	125.000	11.179	113.821	0.010	9100.995	2.528
6	SSD Lantung	9771.170	71.000	10.701	60.299	0.006	10344.188	2.873

No.	Sub Sub DAS	Panjang Sungai (L_{Channel}) (inci)	Elevasi Hulu (inci)	Elevasi Hilir (inci)	ΔH (inci)	Kemiringan Sungai (S_{Sheet})	T_{channel}	
							(detik)	(jam)
7	SSD Siring	6796.155	74.000	9.923	64.077	0.009	5579.187	1.550
8	SSD Selindung	5928.993	70.000	10.659	59.341	0.010	4695.968	1.304
9	SSD Tanah Merah	5705.713	74.000	11.919	62.081	0.011	4298.225	1.194
10	SSD Binangat	7761.313	25.000	9.923	15.077	0.002	16439.231	4.566
11	SSD Muang	8676.026	121.000	6.831	114.169	0.013	5831.166	1.620
12	SSD Bayur	8003.576	87.000	6.508	80.492	0.010	6320.823	1.756
13A	SSD Benanga A	2239.790	10.569	5.092	5.477	0.002	4132.123	1.148
13B	SSD Benanga B	1179.540	10.569	6.835	3.734	0.003	1863.776	0.518
13C	SSD Benanga C	2793.970	8.315	2.853	5.462	0.002	5895.427	1.638
13D	SSD Benanga D	3271.890	6.511	5.094	1.417	0.000	17053.269	4.737
14	SSD Betapus	2839.180	26.000	5.892	20.108	0.007	2767.282	0.769
15	SSD Lampake	7463.243	49.000	5.092	43.908	0.006	8130.679	2.259
16	SSD Bangkuring	3078.305	19.000	4.996	14.004	0.005	3912.991	1.087
17	SSD Lingai	1544.963	24.000	3.834	20.166	0.013	1043.429	0.290
18	SSD Mugirejo	3120.466	24.500	3.385	21.115	0.007	3125.865	0.868
19	SSD Sempaja	10162.252	68.750	3.126	65.624	0.006	10469.255	2.908
20A	SSD Karang Mumus Hilir	2777.221	16.000	2.583	13.417	0.005	3405.332	0.946
20B	SSD Karang Mumus Hilir	5660.533	18.250	1.076	17.174	0.003	9175.273	2.549

Sumber : Hasil Analisa 2014

Curve Number (CN)

Pada penelitian ini, kondisi tutupan lahan sub sub DAS sangat bervariasi, sehingga menyebabkan perlunya perhitungan Curve Number gabungan (*Composite*). Persamaan yang digunakan adalah :

$$N_{omposite} = \frac{\sum A_i N_i}{A_i}$$

(Sumber : HEC-HMS *Technical Refence Manual* Hal : 38)

dimana :

$CN_{Composite}$ = Curve Number Komposit (gabungan)

A_i = Luas Area suatu wilayah/DAS

CN_i = Nilai CN pada area dalam suatu wilayah/DAS

Berikut perhitungan nilai $CN_{Composite}$ masing-masing Sub sub DAS :

Tabel 5.55 Nilai Curve Number (CN) Masing-masing Subsub DAS

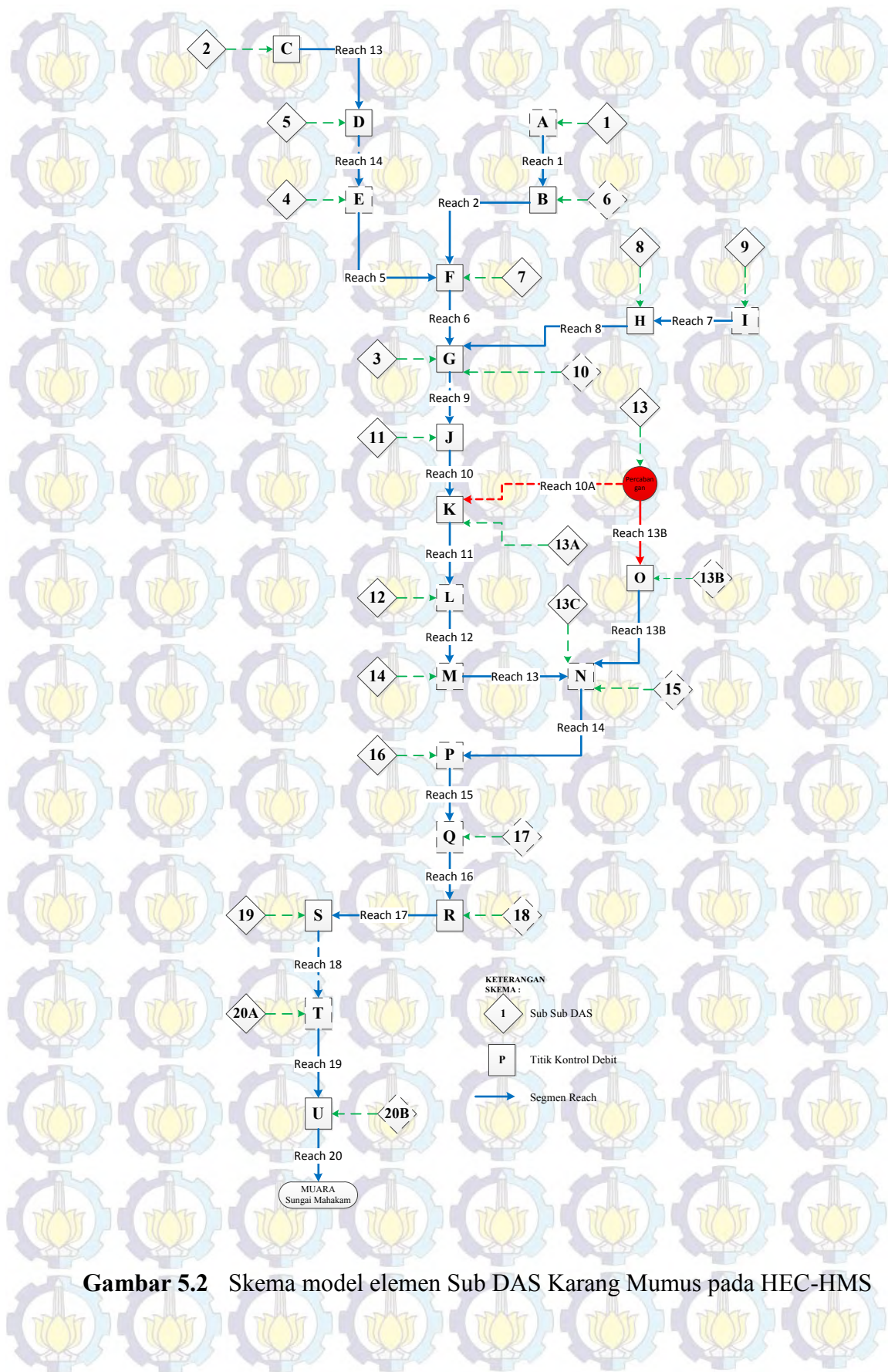
No.	Sub Sub DAS	Nilai Curve Number (CN)	Impervious
1	SSD Karang Mumus Hulu	44.103	0.733
2	SSD Pampang Kiri Hulu	40.663	0.000
3	SSD Pampang Kiri Hilir	57.619	1.928
4	SSD Pampang Kanan	47.851	0.000
5	SSD Lubang Putang	41.964	0.000
6	SSD Lantung	45.318	1.340
7	SSD Siring	51.035	3.044
8	SSD Selindung	50.867	2.796
9	SSD Tanah Merah	46.275	0.348
10	SSD Binangat	58.284	4.636
11	SSD Muang	44.893	0.572
12	SSD Bayur	43.835	0.754
13A	SSD Benanga A	71.723	4.023
13B	SSD Benanga B	71.723	4.023
13C	SSD Benanga C	71.723	4.023
13D	SSD Benanga D	71.723	4.023

No.	Sub Sub DAS	Nilai Curve Number (CN)	Impervious
14	SSD Betapus	58.631	8.052
15	SSD Lampake	52.051	9.162
16	SSD Bangkuring	44.908	12.792
17	SSD Lingai	57.263	22.023
18	SSD Mugirejo	61.211	29.969
19	SSD Sempaja	54.334	16.005
20A	SSD Karang Mumus Hilir	69.183	48.509
20B	SSD Karang Mumus Hilir	69.183	48.509

Sumber : Hasil Analisa (2014)

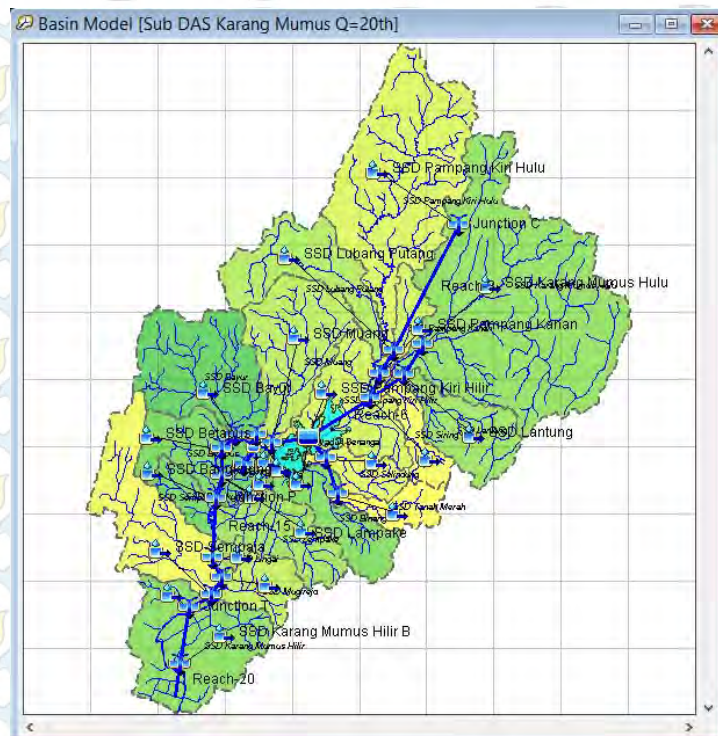
5.1.4 Pemodelan Debit Kondisi Eksisting menggunakan HEC-HMS

Pemodelan Debit Kondisi Eksisting digunakan untuk melihat kemampuan sungai dan waduk eksisting dalam menampung debit yang mengalir berdasarkan curah hujan periode ulang rencana. Periode ulang rencana yang digunakan adalah periode ulang 2th, 5th, 10th, 20th dan 50th. Untuk memudahkan pengerjaan, maka disusun skema model sebagai berikut.

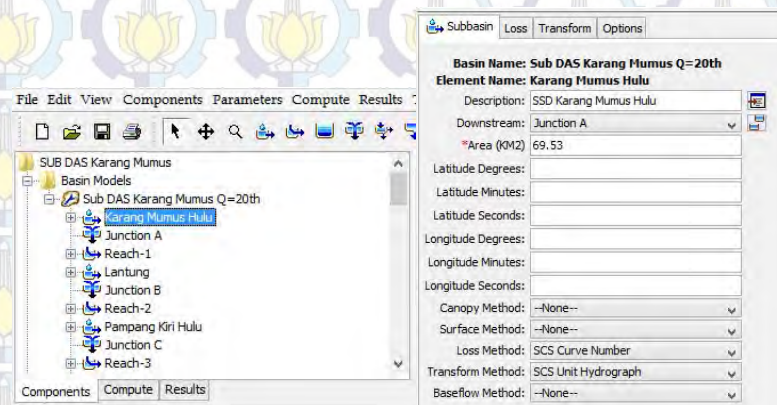


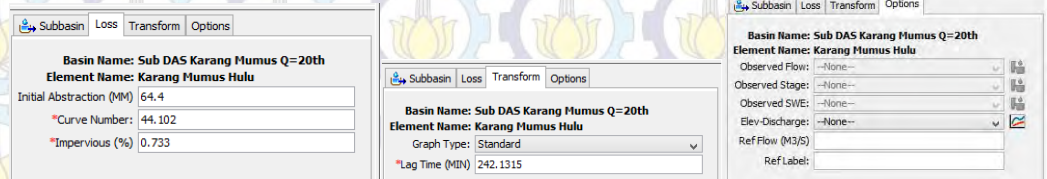
5.1.4.1 *Basin Model* (Model Daerah Tangkapan Air)

Representasi fisik dari *catchment area* (daerah tangkapan) didefinisikan dalam *Basin Model*. Elemen-elemen hidrologi berhubungan dalam jaringan yang mensimulasikan sebuah proses limpasan langsung (*run off*). Elemen-elemen yang digunakan untuk mensimulasikan limpasan adalah subbasin, reservoir, reach dan junction.



Gambar 5.3 Pemodelan Basins Karang Mumus pada HEC-HMS





Gambar 5.4 Input Parameter *Basin Model* pada HEC-HMS

5.1.4.2 *Reservoir (Tampungan Air)*

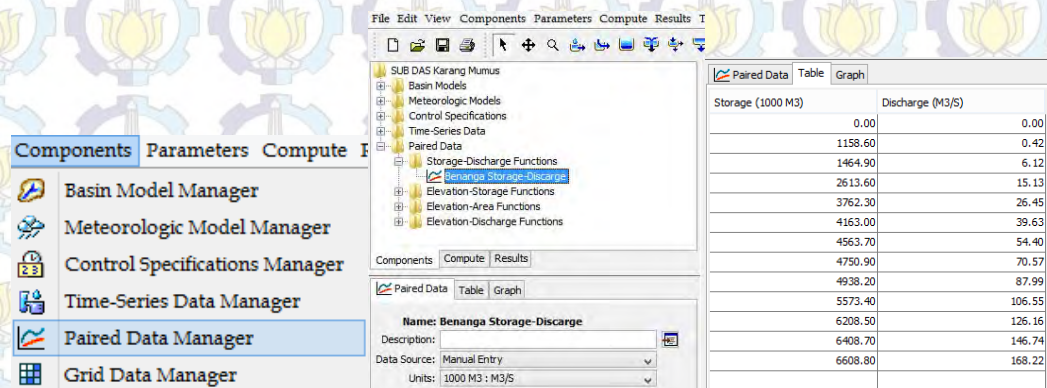
Reservoir merupakan pemodelan tampungan air yang akan telah ada maupun yang akan direncanakan. Pada tesis kali ini digunakan pemodelan reservoir menggunakan metode *Storage-Discharge Method*, terdapat beberapa parameter dalam pemodelan reservoir, diantaranya :

- Storage (Volume tampungan waduk)
- Discharge (Debit outflow pada pelimpah waduk)

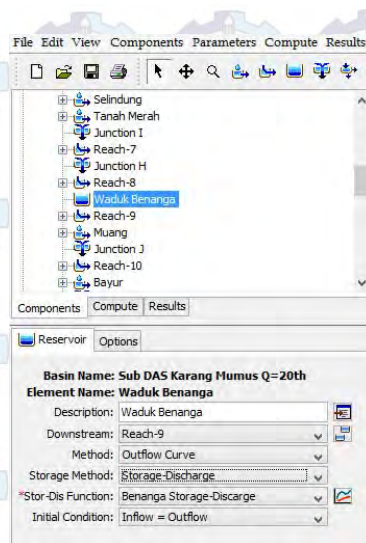
Diketahui :

- Nama Reservoir = Waduk Benanga
- Downstream = Reach-9
- Method = Outflow Curve
- Storage Method = Storage-Discharge
- Stor-Dis Function = Benanga Storage-Discharge
- Initial Condition = Inflow=Outflow

Sebelum memasukkan parameter Stor-Dis Function, maka perlu membuat Komponen dari data Waduk Benanga. Pilih menu *Component* → *Paired Data*. Isikan data yang dibutuhkan sesuai dengan data Waduk Benanga.



Gambar 5.5 Input Parameter *Paired Data*



Gambar 5.6 Input Parameter *Reservoir Model*

5.1.4.3 *Sub-Basin Loss Rate Method (Proses Kehilangan Air)*

Loss Rate Method merupakan cara perhitungan kehilangan air yang terjadi melalui proses infiltrasi. Terdapat 5 metode perhitungan infiltrasi yang tersedia pada HEC-HMS, pada Tesis ini digunakan metode SCS Curve Number Loss Method. SCS Mengembangkan parameter curve number empiris yang mengasumsikan berbagai faktor dari lapisan tanah, tata guna lahan dan porositas untuk menghitung total limpasan curah hujan (Ponce and Hawkins, 1996).

SCS Curve Number terdiri dari beberapa parameter yang harus diinputkan yaitu *Initial Abstraction/Initial Loss* atau Infiltrasi awal, *SCS Curve Number* dan *Impervious* (kekedapan air).

Perhitungan SCS Curve Number dan nilai *Impervious* dapat dilihat pada Lampiran, sedangkan untuk perhitungan *Initial Abstraction* menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{N}{N}$$

Sumber : *Technical Reference Manual of HEC-HMS*, Hal : 38

Berikut rekapitulasi hasil perhitungan parameter Sub-Basin Loss Rate Method :

Tabel 5.56 Hasil Perhitungan Nilai Inital Abstraction

No.	Sub Sub DAS	Initial Abstraction	Curve Number	Impervious (%)
1	SSD Karang Mumus Hulu	64.385	44.103	0.733
2	SSD Pampang Kiri Hulu	74.130	40.663	0.000
3	SSD Pampang Kiri Hilir	37.366	57.619	1.928
4	SSD Pampang Kanan	55.363	47.851	0.000
5	SSD Lubang Putang	70.255	41.964	0.000
6	SSD Lantung	61.296	45.318	1.340
7	SSD Siring	48.740	51.035	3.044
8	SSD Selindung	49.069	50.867	2.796
9	SSD Tanah Merah	58.979	46.275	0.348
10	SSD Binangat	36.359	58.284	4.636
11	SSD Muang	62.358	44.893	0.572
12	SSD Bayur	65.089	43.835	0.754
13A	SSD Benanga A	20.028	71.723	4.023
13B	SSD Benanga B	20.028	71.723	4.023
13C	SSD Benanga C	20.028	71.723	4.023
13D	SSD Benanga D	20.028	71.723	4.023
14	SSD Betapus	35.844	58.631	8.052
15	SSD Lampake	46.796	52.051	9.162
16	SSD Bangkuring	62.321	44.908	12.792
17	SSD Lingai	37.913	57.263	22.023
18	SSD Mugirejo	32.192	61.211	29.969
19	SSD Sempaja	42.696	54.334	16.005
20A	SSD Karang Mumus Hilir	22.628	69.183	48.509
20B	SSD Karang Mumus Hilir	22.628	69.183	48.509

Sumber : Hasil Analisa 2014

5.1.4.4 Sub-Basin Transform (Transformasi hidrograf satuan Limpasan)

Unit hidrograf merupakan metode yang familiar pada sebuah analisa hidrologi. Pada Tesis ini digunakan metode SCS Unit Hydrograph, parameter utama yang diperlukan adalah *Time Lag* atau waktu tenggang. Parameter *Time Lag* diperoleh dengan cara $0.6t_c$ (E.E Daniil, S.N. Michaas, 2005). Parameter tersebut digunakan untuk perhitungan waktu puncak dari hidrograf, secara otomatis model SCS akan membentuk ordinat-ordinat untuk puncak hidrograf dan fungsi waktu. Detail perhitungan *Lag Time* dapat dilihat pada Sub Bab sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggrahini (1996) *Hidrolika Saluran Terbuka*, CV. Citra Media, Surabaya
- Arcement, G. J. dan Schemier, V. R. *Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficient for Natural Channel and Flood Plains*, United State Geological Survey Water- Supply Paper 2339
- Chow, V.T., (1985) *Open Channel Hydraulics*, Erlangga , Jakarta
- Cahyono, Agung Tri (2011) *Perencanaan Pengendalian Banjir Kali Kemuning, Sampang*, Tugas Akhir Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Dake, J. M. K., Tachyan, Endang P. dan Pangaribuan, Y. P. (1985) *Hidrolika Teknik Edisi Kedua*, Erlangga, Jakarta
- Fatmanegara, M. A dan Jatmiko, Retnadi H. (2013) *Pemanfaatan Citra Penginderaan Jauh Multitemporal Untuk Kajian Tingkat Bahaya Erosi (Kasus di Sub DAS Karang Mumus, Kalimantan Timur)*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- French, Richard H. (1985) *Open-Channel Hydraulics*, McGraw-Hill, New York
- Featherstone, R. E. dan Nalluri, C. (1982) *Civil Engineering Hydraulics (Essential Theory with Worked Example)*, Granada Publishing Limited, London
- Haan, Charles T. (1941) *Statistical Method in Hydrology*, The Iowa State University Press, Ames
- Hadisusanto, N. (2010) *Aplikasi Hidrologi*, Jogja Media Utama , Yogyakarta
- Ismail (2007) *Penilaian Kerusakan Daerah Aliran Sungai Pada Sub Sub DAS Bayur Sub DAS Karang Mumus*, RIMBA Kalimantan, Hal : 35-42
- Ismail (2009) *Keseimbangan Air Sub DAS Karang Mumus di Kota Samarinda*, MAKARA, SAINS, Vol. 13

K., Rizal A., Harisuseno, Donny dan Dermawan, Very (2014) *Studi Pengendalian Banjir Kali Wrti Kabupaten Pasuruan*, Jurnal Teknik Pengairan, Vol. 5 Hal: 9-18

Kamiana, I Made (2011) *Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air*, Graha Ilmu, Yogyakarta

Kasiyanti, Nugroho, Joko dan Dwijoyanto, Heriyadi (2012) *Kajian Penanggulangan Banjir Kali Widas Kabupaten Nganjuk Provinsi Jawa Timur*, Master Tesis, Institut Teknologi Bandung, Bandung

Kementrian Pekerjaan Umum (2012) *Sistem Drainase Perkotaan Jilid I*, Jakarta

Kodoatie, R. J. (2013) *Rekayasa dan Manajemen Banjir Kota*, Andy Yogyakarta

Linsey, R. K., Franzini, J. B. dan Sasongko, D (1986) *Teknik Sumber Daya Air*, Erlangga, Jakarta

Mays, Larry W. (2001) *Water Resources Engineering (First Edition)*, John Wiley and Son Inc., New York

Nahlohy, Benjamin J. B., Jayadi, Rahmad dan Istiarto (2008) *Studi Alternatif Pengendalian Banjir Sungai Tondano di Kota Manado*, Forum Teknik Sipil No. XVIII/I

Ramadhani, Adi (2013) *Pemodelan Hidrologi untuk Penentuan Tingkat Prioritas Sub Sub DAS Dalam Pengendalian Banjir Menggunakan Citra Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus : Sub DAS Karang Mumus Samarinda)*, Master Tesis, Jurusan Teknik Lingkungan, UGM Yogyakarta

Sarminingsih, Anik (2007) *Kajian Alternatif Penanggulangan Banjir (Studi Kasus Sungai Ladapa, Gorontalo)*, Jurnal Presipitasi, Vol. 3 No. 2

Shaw, Elizabeth M. (1983) *Hydrology In Practice*, Van Nostrand Reinhold, Berkshire

Soewarno (1995), *Hidrologi Aplikasi Statistik untuk Analisa Data Jilid I*, Nova, Bandung

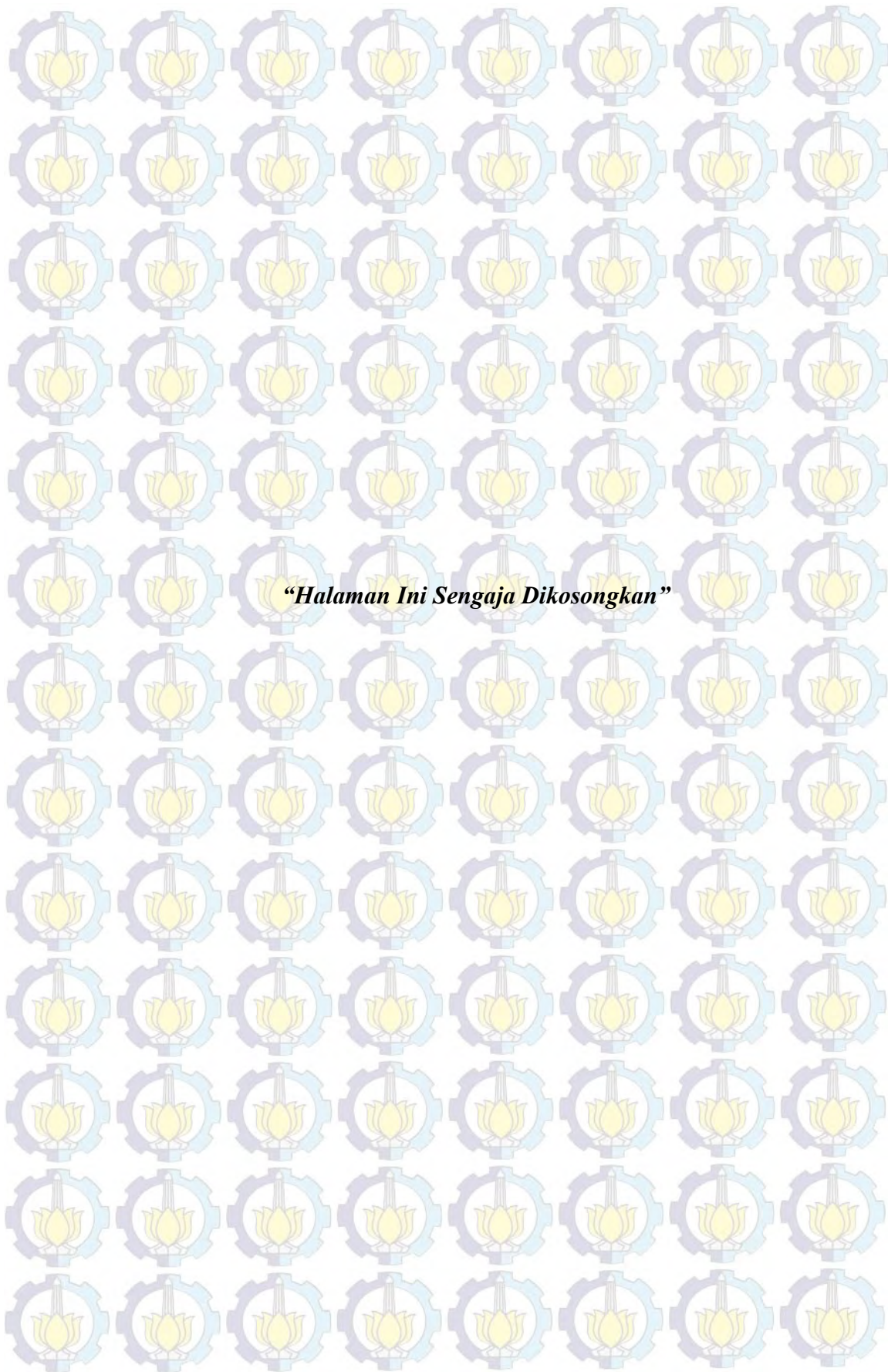
Sosrodarsono, Suyono dan Takeda, Kensaku (1977) *Bendungan Type Urugan*, Pradnya Paramita, Jakarta



U.S. Army Corps of Engineers (2000) *HEC-HMS Technical Reference Manual*,
Davis

U.S. Army Corps of Engineers (2010) *HEC-RAS Hydraulic Reference Manual*,
Davis

Waskito Nugroho, *Evaluasi Pengendalian Banjir Sungai Cibeet Kabupaten Bekasi*, Master Tesis, Magister Pengelolaan Sumber Daya Air, ITB



BIODATA PENULIS



Riyan Benny Sukmara dilahirkan di Tanah Grogot, 21 Desember 1990, setelah lulus dari SMA Negeri 1 Tanah Grogot, penulis melanjutkan studinya di jenjang Diploma dan lulus pada tahun 2008 di jurusan Diploma Teknik Sipil ITS dengan judul Proyek Akhir “*Perencanaan Embung Grogol, Kabupaten Kediri Jawa Timur*”. Selanjutnya penulis melanjutkan studinya pada jenjang Sarjana di Institut yang sama dan lulus pada tahun 2013 dengan judul Tugas Akhir “*Perencanaan Geometrik dan Perkerasan Jalan Akses Pelabuhan Internasional Socah Bangkalan Madura*”. Ditahun yang sama penulis melanjutkan studinya di jenjang Magister bidang keahlian Manajemen dan Rekayasa Sumber Air – ITS.

Dalam penulisan Tesis ini penulis tidak luput dari kesalahan, sehingga penulis sangat terbuka terhadap saran dan kritik yang diberikan oleh pembaca. Untuk itu penulis memberikan informasi kontak sebagai berikut :

Twitter : @bennysukmara

LinkedIN : Riyan Benny Sukmara

Email : bennysukmara@gmail.com

Blog : www.riyanbennysukmara.blogspot.com





Tesis - RC142501

ANALISA PENANGGULANGAN BANJIR SUNGAI KARANG MUMUS SAMARINDA

Riyan Benny Sukmara
NRP. 3113 205 005

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M.Sc.
Dr. Ir. Edijatno, CES., DEA.

Program Pascasarjana
Manajemen dan Rekayasa Sumber Air
Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



Thesis - RC142501

FLOOD CONTROL ANALYSIS OF KARANG MUMUS RIVER SAMARINDA

Riyan Benny Sukmara
NRP. 3113 205 005

Supervisors

Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M.Sc.
Dr. Ir. Edijatno, CES., DEA.

Postgraduate Program
Water Resources Engineering and Management
Department of Civil Engineering
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

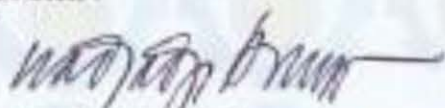
ANALISA PENANGGULANGAN BANJIR SUNGAI KARANG MUMUS SAMARINDA

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
oleh :

RIYAN BENNY SUKMARA
NRP. 3113 205 005

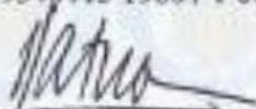
Tanggal Ujian : 15 Januari 2015
Periode Wisuda : Maret 2015

Disetujui oleh :



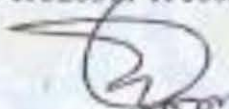
1. Prof. Dr. Ir. Nadiadji Anwar, M.Sc.
NIP. 19540113 19801 1 001

(Pembimbing I)



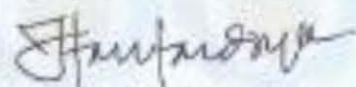
2. Dr. Ir. Edijatno, CES., DEA.
NIP. 19520311 198003 1 003

(Pembimbing II)



3. Dr. techn. Umboro Lasminto, ST., M.Sc.
NIP. 19721202 199802 1 001

(Pengaji)



4. Dr. Ir. Wasis Wardono, M.Sc.
NIP. 19610927 198701 1 001

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana



Prof. Dr. Ir. Adi Soepriyanto, M.T.
NIP. 19640405 199002 1 001

ANALISA PENANGGULANGAN BANJIR SUNGAI KARANG SAMARINDA

Oleh : Riyan Benny Sukmara
NRP : 3113 205 005
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M.Sc.
Dr. Ir. Edijatno, DEA

ABSTRAK

Kota Samarinda terletak pada SubDAS Karang Mumus dan memiliki sungai utama yaitu Sungai Karang Mumus. Sungai Karang Mumus sendiri merupakan muara dari anak-anak sungai pada SubDAS Karang Mumus dan menjadi muara dari saluran-saluran drainase Kota Samarinda. Permasalahan banjir di Samarinda karena adanya indikasi ketidakmampuan sungai Karang Mumus dalam mengalirkan debit yang berasal dari subsub DAS pada SubDAS Karang Mumus. Untuk menanggulangi hal tersebut Pemerintah Kota Samarinda telah berupaya dengan membangun Waduk Benanga sebagai pengendali banjir, namun berdasarkan data pengukuran tahun 2001 dan 2010 terdapat penurunan kapasitas tampungan dari waduk Benanga, sehingga hal ini juga memiliki indikasi menjadi penyebab banjir pada Sungai Karang Mumus (SKM). Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan pendekatan penanggulangan banjir dengan beberapa alternatif pengendalian banjir. Analisa debit banjir pada penelitian ini menggunakan metode *SCS Curve Number* pada HEC-HMS dan analisa profil muka air sunga menggunakan *Unsteady Flow Analysis* pada HEC-RAS.

Hasil analisa penanggulangan banjir diketahui bahwa penurunan kapasitas tampung waduk tidak berpengaruh signifikan, terbukti saat dilakukan normalisasi waduk, nilai reduksi debit banjir yang dihasilkan hanya 13%. Setelah upaya normalisasi waduk tidak menunjukkan hasil yang baik, maka dilakukan upaya dengan menggunakan bangunan pengendali banjir (Bendali). Hasil analisa menggunakan 6 Bendali rencana dan tambahan 4 potensi Bendali baru menunjukkan peningkatan nilai reduksi yang mencapai angka 50%. Dari nilai reduksi yang cukup baik, tinjauan dilakukan pada profil muka air bagian hilir. Hasil analisa menunjukkan pasang-surut Sungai Mahakam berpengaruh signifikan dalam perubahan muka air bagian hilir, sehingga perlu perbaikan pada penampang sungai. Perbaikan penampang dilakukan dengan penambahan tanggul sampai elevasi +4m pada ruas yang terpengaruh *backwater*.

Kata kunci: Karang Mumus, Banjir, Benanga, Normalisasi

FLOOD CONTROL ANALYSIS OF KARANG MUMUS RIVER SAMARINDA

By : Riyan Benny Sukmara
Reg. Number : 3113 205 005
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M.Sc.
Dr. Ir. Edijatno, DEA

ABSTRACT

Samarinda city is located in Karang Mumus SubBasin, and is part of the Mahakam River Basin. Karang Mumus SubBasin has major rivers namely Karang Mumus river. Karang Mumus river is the estuary of the tributaries on Karang Mumus SubBasin and also as the estuary of Samarinda drainage channels. Flooding problems in Samarinda is due to inability indication of Karang Mumus river to flows the discharge from lateral flow of creeks and drainage channels of Samarinda. To overcome that problem, Government of Samarinda has sought to build Benanga Dams, but based on the measurement data of 2001 and 2010 there show decrease in storage capacity of Benanga Dam. It also has an indication of the cause of flooding in the Karang Mumus river. Therefore, in this study will be do the prevention approach of Karang Mumus river with normalized Benanga Dam and use several development scenarios dam. Analysis of flood discharge in this study use SCS Curve Number Method on the HEC-HMS and water surface analysis use Unsteady Flow Analysis in HEC-RAS.

Based on the flood control analysis results, showed that decrease in capacity of the reservoir does not have significant effect, it was seen as an experiment by doing normalization on Benanga Dams, where the value of flood discharge reduction is only 13%. After Dam's Normalization effort does not show good results, then conducted experiments using the additional flood control structures (dam). The results of a experiments using 6 dam, showed an increase in the value of the reduction reached until 50%, and the experiment with 4 new potential dams have result the discharge reduction value occurred in the middle segment of the Karang Mumus river. After get good value reduction, flood control analysis proses continue to checking the downstream of river. The analysis shows the effect of Mahakam River tidal is very significant to raising the water level at downstream section, so it needs to normalize the river cross section. Normalization carried out using additional embankment at each river cross section. Based on the analysis, additional embankments elevation should be raised to +4m.

Keywords : Karang Mumus, Flood, Benanga, Normalization

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT, atas segala rahmat dan hidayahnya, sehingga penyusunan Tesis ini dapat selesai dengan baik.

Dalam proses penyusunan Tesis ini penulis tidak luput dari bantuan, bimbingan dan arahan dari berbagai pihak, diantaranya :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M.Sc., selaku dosen pembimbing I
2. Bapak Dr. Ir. Edijatno, CES., DEA., selaku dosen pembimbing II
3. Ibu Endah Sri Wahyuni, ST., M.Sc., Ph.D., selaku ketua Program Pascasarjana Teknik Sipil ITS.
4. Bapak Budi Suswanto, ST., MT., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil ITS.
5. Dosen pengajar Program Magister Manajemen dan Rekayasa Sumber Air, Teknik Sipil ITS, atas ilmu dan pengetahuan yang telah diajarkan.
6. Karyawan Laboratorium Teknik Pantai dan Keairan Teknik Sipil ITS (Pak Wardoto dkk.), atas dukungan dan fasilitas yang diberikan.
7. Pengelola Program Pascasarjana ITS, atas beasiswa *Fresh Graduate* yang telah diberikan.
8. Bapak M. Zuraini Ihksan, ST., MT., selaku Kepala Bagian Hidrologi BBWS Kalimantan III, atas bantuan data penelitian yang diberikan
9. Bapak Novida, ST., MT., selaku Pegawai Dinas Bina Marga dan Pengairan Kota Samarinda, atas bantuan data penelitian yang telah diberikan.
10. Bapak Eko Wahyudi, ST., M.Eng, selaku Konsultan Manajemen Sumber Daya Air Dinas Pekerjaan Umum Propinsi Kal-Tim, atas arahan dan bantuan data penelitian yang telah diberikan.
11. Bapak Drs. Mislan, M.Si, selaku dosen FMIPA Universitas Mulawarman, atas arahan penelitian yang telah diberikan.
12. Keluarga tercinta, Ayahanda dan Ibunda (Riyanto dan Sukirah) yang selalu memberikan dukungan serta doanya, hingga saat ini. Adikku

(Suveyan Adhi Laksana) yang selalu membantu dalam proses pengerjaan Tesis ini.

13. Teman-teman seperjuangan Mahasiswa Angk. 2012 Program Pascasarjana Manajemen dan Rekayasa Sumber Air ITS (Andi Patriadi, Hary Puji Astuti, M. Adbul Rohman, Qaryatullailiyah, Paramita, Agustinus H. Pattiraja, Reza Febrivia Luciana, Gemma Galgani, Windari Wahyuningsih, Dodyk Bagus H., Faradila Saves & Rossana Margareth K.), atas kerjasamanya selama kuliah, nanti kumpul lagi.
14. Teman-teman di Samarinda (Priyan Dita A.S., M. Najib, M. Halim Azmy, Reza R., Bang Udin dan Bang Wahyu “Nopek”) yang telah membantu selama proses pengumpulan data dan survey di Samarinda.
15. Elda T.P, atas dukungan dan semangatnya selama pengerjaan Tesis ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan kelemahan dari penyusunan Tesis ini. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk kesempurnaan Tesis ini. Semoga Tesis ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan yang membutuhkannya.

Surabaya, Januari 2015

Riyan Benny Sukmara

Penulis

DAFTAR ISI

Abstrak.....	i
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi.....	v
Daftar Tabel.....	ix
Daftar Gambar.....	xiii
 BAB I Pendahuluan	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Permasalahan	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
1.6 Lokasi Penelitian	7
 BAB II Tinjauan Pustaka.....	 9
2.1 Banjir	9
2.1.1 Pengendalian Banjir	10
2.2 Sungai	11
2.3 Analisa Hidrologi.....	12
2.3.1 Curah Hujan	12
2.3.2 Analisa Distribusi Frekwensi	16
2.3.3 Uji Kesesuaian Distribusi Frekwensi	19
2.4 Koefisien Pengaliran (C)	21
2.5 Analisa Debit Banjir Rencana	22
2.6 Analisa Hidrolika.....	29
2.6.1 Aliran Saluran Terbuka	29
2.6.1.1 Tipe Aliran.....	31

2.6.1.2	Aliran Berubah Lambat Laun	33
2.6.2	Persamaan Gerak dari Euler	35
2.6.3	Deskripsi Parameter Model	36
2.6.3.1	Koefisien Manning (n)	36
2.6.3.2	Periode Ulang (<i>Return Period</i>)	36
2.7	Bangunan Pengontrol Banjir	37
2.7.1	Waduk	37
2.7.2	Volume Waduk	38
2.7.3	Penelusuran Banjir	39
2.8	Konsep Pemodelan Menggunakan Software	41
2.8.1	Pemodelan Hidrologi	41
2.8.1.1	Gambaran Umum HEC-HMS	41
2.8.1.2	Parameter Input pada HEC-HMS	43
2.8.2	Pemodelan Hidrolika	44
2.8.2.1	Peniruan Geometri Saluran/Sungai	45
2.8.2.2	<i>Unsteady Flow Analysis</i>	46
2.9	Studi/Penelitian Terdahulu	47
BAB III Metodologi Penelitian		53
3.1	Kerangka Penelitian	53
3.2	Penjelasan Bagan Alir	55
3.2.1	Persiapan	55
3.2.2	Pengumpulan Data	55
3.2.3	Analisa	57
3.2.4	Penyusunan Rekomendasi	58
BAB IV Lokasi Studi		59
4.1	Gambaran Umum	59
4.2	Tofografi	63
4.3	Tutupan Lahan	64
4.4	Kondisi Saat Ini	69

BAB V Analisa.....	73
5.1 Analisa Hidrologi.....	73
5.1.1 Curah Hujan Rencana.....	73
5.1.1.1 Analisa Koefisien Thiessen (C_i).....	73
5.1.1.2 Analisa Curah Hujan Harian Rata-rata	75
5.1.1.3 Perhitungan Curah Hujan Rencana	93
5.1.2 Perhitungan Hujan Jam-jam'an	114
5.1.3 Perhitungan Parameter Perhitungan Debit pada HEC-HMS	120
5.1.4 Pemodelan Debit Kondisi Eksisting menggunakan HEC-HMS	128
5.1.4.1 Basin Model	130
5.1.4.2 Reservoir (Tampungan Air)	131
5.1.4.3 Sub Basin Loss Rate Method (Proses Kehilangan Air)	132
5.1.4.4 Sub Basin Transform (Transformasi Hidrograf Satuan Limpasan)	133
5.1.4.5 Reach (Penghubung antar simpul/Junction)	134
5.1.4.6 Meteorological Model (Model Meteorologi)	137
5.1.4.7 Control Specification	138
5.1.4.8 Running Model (Proses Perhitungan Model)	139
5.1.4.9 Hasil Running Model	140
5.2 Evaluasi Kondisi Eksisting	142
5.2.1 Evaluasi Kapasitas Sungai Menggunakan HEC-RAS	142
5.2.1.1 New Project	143
5.2.1.2 Geometric Editing (Input Data Geometri Sungai) ..	144
5.2.1.3 Unsteady Flow Data (Data Aliran Tidak Tetap)	145
5.2.1.4 Unsteady Flow Analysis	152
5.2.1.5 Hasil Analisa	153
5.3 Skenario Penanggulangan Banjir	156
5.3.1 Analisa Penanggulangan Banjir dengan Skenario Rencana	157

5.3.1.1	Skenario I	157
5.3.1.2	Skenario II	161
5.3.1.3	Skenario III	169
5.4	Evaluasi Hasil Penerapan Skenario Penanggulangan Banjir	178
5.4.1	Evaluasi Kapasitas Sungai Setelah Penerepan Skenario Penanggulangan Banjir	183
5.4.2	Upaya Penanggulangan Banjir dengan Normalisasi Penampang Sungai Karang Mumus	187
BAB VI Hasil Analisa dan Rekomendasi		201
6.1	Hasil Analisa	201
6.1.1	Hasil Analisa Kondisi Eksisting	201
6.1.2	Hasil Analisa Alternatif Penanggulangan Banjir (Skenario I)	202
6.1.3	Hasil Analisa Alternatif Penanggulangan Banjir (Skenario II)	203
6.1.4	Hasil Analisa Alternatif Penanggulangan Banjir (Skenario III)	204
6.1.5	Hasil Analisa Alternatif Penanggulangan Banjir Dengan Normalisasi	207
6.2	Rekomendasi	209
BAB VII Kesimpulan dan Saran		213
7.1	Kesimpulan	213
7.2	Saran	214
Daftar Pustaka		217
Tentang Penulis Penulis		221
Lampiran A		223
Lampiran B		235
Galeri Foto Lokasi Studi		255

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Rekapitulasi Daerah Rawan Banjir Samarinda.....	3
Tabel 2.1	Kriteria Penentuan Perhitungan Curah Hujan	12
Tabel 2.2	Nilai Reduksi Gauss.....	18
Tabel 2.3	Nilai Koefisien Pengaliran.....	21
Tabel 2.4	Klasifikasi Jenis Tanah	23
Tabel 2.5	Klasifikasi Sifat Hidrologi Berdasarkan Tekstur Tanah..	23
Tabel 2.6	Klasifikasi Nilai CN Pada Kondisi AMC II	25
Tabel 2.7	Kondisi Kelembaban Tanah Sebelumnya (AMC)	27
Tabel 2.8	Besaran Kala Ulang Sesuai Dengan Jenis Bangunan	37
Tabel 2.9	Metode Pemodelan pada HEC-HMS.....	42
Tabel 2.10	Perbandingan Penelitian Sebelumnya dengan Penelitian yang Dilakukan	48
Tabel 4.1	Sub Sub DAS Karang Mumus.....	61
Tabel 4.2	Komposisi Ketinggian Wilayah Sub DAS Karang Mumus	64
Tabel 5.1	Nilai Koefisien Thiessen Sub Sub DAS Karang Mumus	75
Tabel 5.2	Curah Hujan Maksimum Harian Sta. Pampang.....	75
Tabel 5.3	Curah Hujan Maksimum Harian Sta. Sei Siring.....	76
Tabel 5.4	Curah Hujan Maksimum Harian Sta. Tanah Merah	76
Tabel 5.5	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Karang Mumus Hulu	77
Tabel 5.6	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Pampang Kiri Hulu	77

Tabel 5.7	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Pampang Kiri Hilir.....	78
Tabel 5.8	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Pampang Kanan	79
Tabel 5.9	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Lubang Putang ..	80
Tabel 5.10	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Lantung	81
Tabel 5.11	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Siring.....	82
Tabel 5.12	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Selindung	82
Tabel 5.13	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Tanah Merah	83
Tabel 5.14	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Binangat	84
Tabel 5.15	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Muang	85
Tabel 5.16	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Bayur.....	85
Tabel 5.17	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Benanga.....	86
Tabel 5.18	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Betapus.....	87
Tabel 5.19	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Lempake.....	88
Tabel 5.20	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Bengkuring.....	89
Tabel 5.21	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Lingai	89
Tabel 5.22	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Mugirejo.....	90
Tabel 5.23	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Sempaja.....	91
Tabel 5.24	Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Karang Mumus Hilir.....	92
Tabel 5.25	Curah Hujan Maksimum Rata-rata	93
Tabel 5.26	Perhitungan Parameter Distribusi	94
Tabel 5.27	Hasil Perhitungan Curah Hujan Rencana Metode Normal	95
Tabel 5.28	Hasil Perhitungan Y_T	96
Tabel 5.29	Hasil Perhitungan Curah Hujan Rencana Distribusi Gumbel.....	97
Tabel 5.30	Perhitungan Distribusi Log Pearson Tipe III.....	97
Tabel 5.31	Hasil Perhitungan K_T	98
Tabel 5.32	Hasil Perhitungan Curah Hujan Rencana Distribusi Log Pearson Tipe III.....	99
Tabel 5.33	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Parameter Distribusi.....	99

Tabel 5.34	Hasil Perhitungan Interval Nilai X_T Distribusi Normal	101
Tabel 5.35	Hasil Perhitungan χ^2_{Hitung} Distribusi Normal	101
Tabel 5.36	Hasil Perhitungan Interval Nilai X_T Distribusi Gumbel ...	102
Tabel 5.37	Hasil Perhitungan χ^2_{Hitung} Distribusi Gumbel	102
Tabel 5.38	Hasil Perhitungan Interval Nilai X_T Distribusi Log Pearson Tipe III	103
Tabel 5.39	Hasil Perhitungan χ^2_{Hitung} Distribusi Log Pearson Tipe III	103
Tabel 5.40	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Uji Chi Square Sub Sub DAS 1	103
Tabel 5.41	Hasil Pengurutan Data X_i Sub Sub DAS 1	104
Tabel 5.42	Hasil Perhitungan Nilai ΔP_{Hitung} Distribusi Normal	105
Tabel 5.43	Hasil Perhitungan Nilai ΔP_{Hitung} Distribusi Gumbel	106
Tabel 5.44	Hasil Perhitungan Nilai ΔP_{Hitung} Distribusi Log Pearson Tipe III	107
Tabel 5.45	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Uji Smirnof-Kolmogorof	108
Tabel 5.46	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Uji Chi Square Sub Sub DAS Karang Mumus	108
Tabel 5.47	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Uji Smirnof-Kolmogorof Sub Sub DAS Karang Mumus	110
Tabel 5.48	Rekapitulasi Hasil Uji Chi Square dan Uji Smirnof- Kolmogorov	111
Tabel 5.49	Rekapitulasi Hasil Distribusi Hujan Terpilih	113
Tabel 5.50	Rekapitulasi Hasil Pola Distribusi Hujan Jam-jam'an	116
Tabel 5.51	Distribusi Hujan Jam-jam'an pada Sub Sub DAS	116
Tabel 5.52	Hasil Perhitungan Waktu Konsentrasi (Lahan)	123
Tabel 5.53	Hasil Perhitungan Waktu Konsentrasi (Sungai)	123
Tabel 5.54	Rekapitulasi Hasil Perhitungan <i>Time Lag</i>	126
Tabel 5.55	Nilai Curve Number (CN) Masing-masing Sub Sub DAS	127
Tabel 5.56	Hasil Perhitungan Nilai Initial Abstraction	133
Tabel 5.57	Nilai Parameter Input untuk <i>Time Lag</i>	134

Tabel 5.58	Nilai Koefisien Manning (n).....	135
Tabel 5.59	Data Parameter Input Reach	136
Tabel 5.60	Rekapitulasi Debit Puncak Sub Sub DAS	140
Tabel 5.61	Rekapitulasi Debit Puncak Tiap Reach	141
Tabel 5.62	Rekapitulasi Debit Puncak (Outflow) Tiap Junction.....	141
Tabel 5.63	Data Input Parameter Flow Hydrograph pada HEC-RAS (Q=2th).....	147
Tabel 5.64	Data Input Parameter Flow Hydrograph pada HEC-RAS (Q=5th).....	148
Tabel 5.65	Data Input Parameter Flow Hydrograph pada HEC-RAS (Q=10th).....	149
Tabel 5.66	Data Input Parameter Flow Hydrograph pada HEC-RAS (Q=20th).....	150
Tabel 5.67	Data Input Parameter Flow Hydrograph pada HEC-RAS (Q=50th).....	151
Tabel 5.68	Data Lengkung Kapasitas Waduk Benanga Tahun 2001 ..	157
Tabel 5.69	Hasil Running Skenario I.....	158
Tabel 5.70	Data Bendali Rencana pada Skenario II	162
Tabel 5.71	Hasil Analisa Debit Banjir Skenario II.....	166
Tabel 5.72	Data Bendali Potensi pada Skenario III.....	174
Tabel 5.73	Hasil Analisa Debit Banjir Skenario III.....	174
Tabel 5.74	Rekapirulasi Parameter Nilai Reduksi Debit Banjir Hasil Penerapan Skenario Banjir.....	181
Tabel 5.75	Rekapitulasi Perhitungan Alternatif Kemiringan Dasar Sungai	189
Tabel 5.76	Perbandingan Elevasi Dasar Sungai Rencana dan Eksisting.....	190
Tabel 5.77	Hasil Perhitungan Perkiraan Dimensi Normalisasi Penampang Sungai.....	191

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Area Potensi Banjir di Sub DAS Karang Mumus .	2
Gambar 1.2	Lokasi Penelitian.....	7
Gambar 2.1	Pengendalian Banjir dengan Metode Non Struktur dan Struktur.....	11
Gambar 2.2	DAS Dengan Perhitungan Curah Hujan Poligon Thiessen.....	14
Gambar 2.3	Metode Isohyet.....	15
Gambar 2.4	Kurva Distribusi Frekwensi Normal	17
Gambar 2.5	Perbandingan antara Aliran Pipa dengan Aliran Saluran Terbuka	30
Gambar 2.6	Energi dalam Aliran Saluran Terbuka Berubah Beraturan	32
Gambar 2.7	Contoh Berbagai Tipe Aliran	33
Gambar 2.8	Contoh Berbagai Tipe Aliran (Lanjutan)	33
Gambar 2.9	Penggolongan Profil Aliran untuk Aliran Berubah Lambat Laun	34
Gambar 2.10	Skema Tekanan pada Permukaan Suatu Elemen Cairan Berbentuk Paraller Eppipendum.....	35
Gambar 2.11	Zona-zona Volume Waduk	38
Gambar 2.12	Transformasi Hujan Menjadi Aliran (HEC-HMS)	41
Gambar 2.13	Tampilan Awal Program HEC-RAS.....	44
Gambar 2.14	Jendela Editor Geometrik Data	45
Gambar 2.15	Jendela Editor Cross Section Data	45
Gambar 2.16	Jendela Input data Hidrograf.....	46
Gambar 2.17	Tampilan pada Menu Unsteady Flow Analysis	47

Gambar 3.1	Diagram Alir.....	54
Gambar 4.1	Lokasi Studi (Kota Samarinda, Kal-Tim).....	59
Gambar 4.2	Pembagian Sub Sub DAS Karang Mumus.....	60
Gambar 4.3	Pembangian Kelompok Sub Sub DAS Karang Mumus.....	62
Gambar 4.4	Peta Ketinggian Pada Sub DAS Karang Mumus	63
Gambar 4.5	Peta Tutupan Lahan pada Sub DAS Karang Mumus ...	65
Gambar 4.6	Tutupan Lahan Pada SSD Karang Mumus Hulu dan SSD Pampang Kiri Hulu	66
Gambar 4.7	Tutupan Lahan Pada SSD Pampang Kiri Hilir dan SSD Pampang Kanan	66
Gambar 4.8	Tutupan Lahan Pada SSD Lubang Putang dan SSD Lantung	66
Gambar 4.9	Tutupan Lahan Pada SSD Siring dan SSD Selindung..	67
Gambar 4.10	Tutupan Lahan Pada SSD Tanah Merah dan SSD Binangat	67
Gambar 4.11	Tutupan Lahan Pada SSD Muang dan SSD Bayur	67
Gambar 4.12	Tutupan Lahan Pada SSD Benanga dan SSD Betapus.	68
Gambar 4.13	Tutupan Lahan Pada SSD Lempake dan SSD Bengkuring	68
Gambar 4.14	Tutupan Lahan Pada SSD Lingai dan SSD Mugirejo ..	68
Gambar 4.15	Tutupan Lahan Pada SSD Sempaja dan SSD Karang Mumus Hilir	69
Gambar 4.16	Peta Area Potensi Banjir di Sub DAS Karang Mumus	69
Gambar 4.17	Lengkung Kapasitas Waduk Benangan Tahun 2001 dan 2010	70
Gambar 4.18	Kondisi Eksisting Sungai Karang Mumus I (Bagian Hilir).....	71
Gambar 4.19	Kondisi Eksisting Sungai Karang Mumus II (Bagian Hilir).....	71
Gambar 4.20	Kondisi Eksisting Sungai Karang Mumus III	

	(Bagian Hilir)	72
Gambar 4.21	Banjir Kota Samarinda (Bagian Hilir)	72
Gambar 5.1	Pembagian Wilayah Berdasarkan Poligon Tiessen.....	74
Gambar 5.2	Skema Model Elemen Sub DAS Karang Mumus Pada HEC-HMS (Kondisi Eksisting).....	129
Gambar 5.3	Pemodelan Basin Karang Mumus pada HEC-HMS	130
Gambar 5.4	Input Parameter <i>Basin Model</i> pada HEC-HMS	131
Gambar 5.5	Input Parameter Paired Data	131
Gambar 5.6	Input Parameter Reservoir Model	132
Gambar 5.7	Input Parameter Meteorological Model	137
Gambar 5.8	Input Parameter Time Series Data	138
Gambar 5.9	Input Parameter Control Specification.....	138
Gambar 5.10	Pembuatan Perhitungan Simulasi (Simulation Running) pada HEC-HMS	139
Gambar 5.11	Tampilan Proses Running Simulasi pada HEC-HMS...	139
Gambar 5.12	Tampilan Awal Software HEC-RAS	143
Gambar 5.13	Denah Ruas Utama Sungai Karang Mumus.....	143
Gambar 5.14	Kotak Dialog Menu <i>New Project</i> pada HEC-RAS	144
Gambar 5.15	Tampilan Menu Geometric Data pada HEC-RAS	144
Gambar 5.16	Tampilan Kotak Dialog Cross Section Data	145
Gambar 5.17	Tampilan Jendela Input Unsteady Flow Data	146
Gambar 5.18	Pasang Surut Sungai Mahakam (Muara Sungai Karang Mumus.....	152
Gambar 5.19	Tampilan Proses Running Simulasi Pada HEC-RAS ...	152
Gambar 5.20	Profil Muka Air untuk Debit Periode Ulang 2th.....	153
Gambar 5.21	Profil Muka Air untuk Debit Periode Ulang 5th.....	153
Gambar 5.22	Profil Muka Air untuk Debit Periode Ulang 10th.....	154
Gambar 5.23	Profil Muka Air untuk Debit Periode Ulang 20th.....	154
Gambar 5.24	Profil Muka Air untuk Debit Periode Ulang 50th.....	154
Gambar 5.25	Ilustrasi Asumsi Pemodelan Geometri Sungai pada HEC-RAS	155

Gambar 5.26	Lengkung Kapasitas Waduk Benangan 2001	157
Gambar 5.27	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario I (Q2th) ..	159
Gambar 5.28	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario I (Q5th) ..	159
Gambar 5.29	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario I (Q10th)	159
Gambar 5.30	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario I (Q20th)	160
Gambar 5.31	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario I (Q50th)	160
Gambar 5.32	Nilai Reduksi Debit Banjir Skenario I Terhadap Debit Banjir Eksisting	161
Gambar 5.33	Lokasi Bendali pada Skenario II	162
Gambar 5.34	Skema Pemodelan Hidrologi Skenario II	163
Gambar 5.35	Lengkung Kapasitas Bendali 1	164
Gambar 5.36	Lengkung Kapasitas Bendali 2	164
Gambar 5.37	Lengkung Kapasitas Bendali 3	165
Gambar 5.38	Lengkung Kapasitas Bendali 4	165
Gambar 5.39	Lengkung Kapasitas Bendali 5	166
Gambar 5.40	Lengkung Kapasitas Bendali 6	166
Gambar 5.41	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario II (Q2th) .	167
Gambar 5.42	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario II (Q5th) .	167
Gambar 5.43	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario II (Q10th)	168
Gambar 5.44	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario II (Q20th)	168
Gambar 5.45	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario II (Q50th)	168
Gambar 5.46	Nilai Reduksi Debit Banjir Skenario II Terhadap Debit Banjir Eksisting	169
Gambar 5.47	Lokasi Potensi Pengembangan Bendali	170
Gambar 5.48	Skema Pemodelan Hidrologi Skenario III	171
Gambar 5.49	Lengkung Kapasitas Bendali Potensi 1	172
Gambar 5.50	Lengkung Kapasitas Bendali Potensi 2	172
Gambar 5.51	Lengkung Kapasitas Bendali Potensi 3	173
Gambar 5.52	Lengkung Kapasitas Bendali Potensi 4	173

Gambar 5.53	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario III (Q2th).....	175
Gambar 5.54	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario III (Q5th).....	175
Gambar 5.55	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario III (Q10th).....	176
Gambar 5.56	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario III (Q20th).....	176
Gambar 5.57	Perbandingan Debit Eksisting dan Skenario III (Q50th).....	177
Gambar 5.58	Nilai Reduksi Debit Banjir Skenario III Terhadap DebitBanjir Eksisting.....	177
Gambar 5.59	Perbandingan Nilai Persentase Reduksi Debit Banjir Tiap Skenario.....	178
Gambar 5.60	Perbandingan Nilai Persentase Reduksi Debit Banjir Tiap Skenario (Lanjutan).....	179
Gambar 5.61	Profil Muka Air Sungai Pada Debit Q2th	183
Gambar 5.62	Profil Muka Air Sungai Pada Debit Q5th	184
Gambar 5.63	Profil Muka Air Sungai Pada Debit Q10th	184
Gambar 5.64	Profil Muka Air Sungai Pada Debit Q20th	185
Gambar 5.65	Profil Muka Air Sungai Pada Debit Q50th	185
Gambar 5.66	Rekapitulasi Kontrol Muka Air Berbagai Debit Periode Ulang.....	186
Gambar 5.67	Plotting Elevasi Dasar Sungai Eksisting dan Rencana .	190
Gambar 5.68	Cross Section Eksisting dan Normalisasi.....	192
Gambar 5.69	Cross Section Eksisting dan Normalisasi (Lnjutan).....	193
Gambar 5.70	Cross Section Eksisting dan Normalisasi (Lanjutan)....	194
Gambar 5.71	Profil Muka Air Hasil Simulasi Penampang Normalisasi	194
Gambar 5.72	Profil Muka Air Hasil Simulasi Penampang Normalisasi (Lanjutan).....	195
Gambar 5.73	Penampang Sungai Setelah Penyesuaian	196

Gambar 5.74	Penampang Sungai Setelah Penyesuaian (Lanjutan)....	197
Gambar 5.75	Profil Muka Air Hasil Simulasi Penampang Normalisasi II	197
Gambar 5.76	Profil Muka Air Hasil Simulasi Penampang Normalisasi II (Lanjutan)	198
Gambar 5.77	Profil Muka Air Hasil Simulasi Penampang Normalisasi II (Lanjutan)	199
Gambar 5.78	Rekapitulasi Profil Muka Air Hasil Simulasi Penampang Normalisasi II	200
Gambar 6.1	Pola Reduksi Banjir Setelah Penerapan Skenario II.....	204
Gambar 6.2	Pola Reduksi Banjir Setelah Penerapan Skenario III ...	205
Gambar 6.3	Pola Reduksi Debit Banjir Pada Junction U	205
Gambar 6.4	Profil Muka Air Banjir Pada Simulasi Jam Ke-1 (Q20th)	206
Gambar 6.5	Profil Muka Air Banjir Pada Kondisi Debit Max (Q20th)	206
Gambar 6.6	Profil Muka Air Banjir Setelah Normalisasi(Q20th)....	208
Gambar 6.7	Profil Muka Air Banjir Setelah Penambahan Tinggi Tanggul (Q20th)	209

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Banjir merupakan permasalahan umum yang sering terjadi di sebagian wilayah Indonesia, terutama di wilayah padat penduduk misalnya dikawasan perkotaan. Kerugian yang ditimbulkan bisa sangat besar, baik dari segi materi maupun kerugian jiwa (Kodoatie, 2013). Permasalahan banjir diakibatkan oleh banyak faktor, mulai dari kondisi tofografi daerah tangkapan air, kondisi tutupan lahan, durasi dan intensitas hujan serta kondisi jaringan drainase disuatu wilayah.

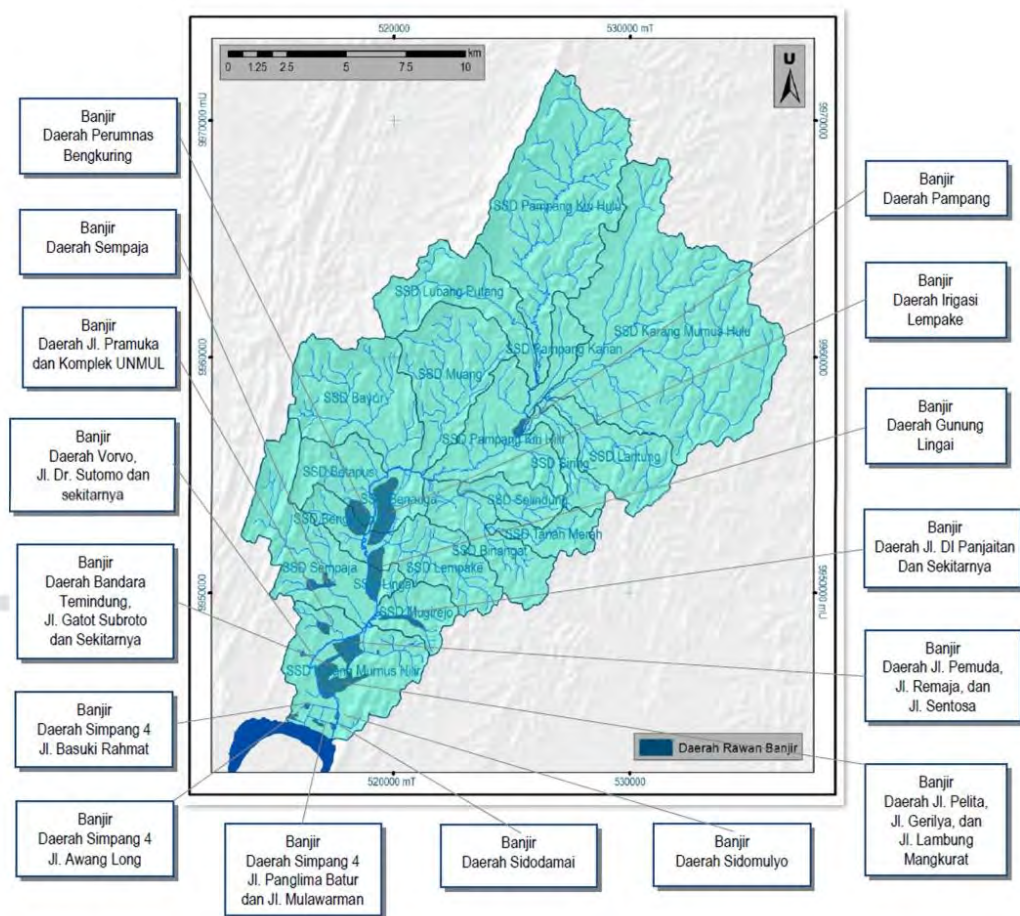
Faktor tata guna lahan merupakan penyebab utama banjir dibanding dengan faktor lainnya. Apabila seatu hutan yang berada pada suatu daerah aliran sungai (DAS) diubah menjadi pemukiman, maka debit sungai akan meningkat 6 sampai 20 kali (Kodoatie & Sjarief, 2010).

Kalimantan khususnya Kota Samarinda merupakan daerah dengan alih fungsi hutan yang terbilang tinggi di Indonesia. Pembukaan lahan untuk berbagai kepentingan khususnya dibagian hulu menyebabkan meningkatnya debit limpasan yang seharusnya dapat ditahan atau meresap kedalam tanah. Peningkatan debit limpasan ini tidak dibarengi dengan peningkatan kapasitas sungai yang seimbang dan bahkan cenderung berbanding terbalik. Hal ini diakibatkan karena adanya kegiatan manusia yang berada disekitar bantaran sungai, sehingga terjadi perubahan penampang sungai.

Samarinda sendiri merupakan ibukota Provinsi Kalimantan Timur (Kaltim), dengan luas wilayah $\pm 718 \text{ km}^2$ yang secara astronomis membentang antara $117^{\circ}03'00'' - 117^{\circ}18'14''$ BT dan $00^{\circ}19'02'' - 00^{\circ}42'34''$ LS. Samarinda sendiri masuk dalam Sub daerah aliran sungai (Sub-DAS) Karang Mumus yang mana SubDAS ini juga merupakan bagian dari DAS Mahakam, dengan panjang sungai utama yaitu Sungai Karang Mumus adalah sepanjang $\pm 17 \text{ km}$. Sub-DAS Karang Mumus sendiri memiliki luasan ± 36 ribu ha, sekitar 50,9 % dari luasan Samarinda. Luasaan lahan kritis pada Sub-DAS Karang Mumus mencapai $\pm 28,3$

ha atau sekitar 63,8% dari total luasan SubDAS. Curah hujan rata-rata yang terjadi di wilayah SubDAS ini mencapai >150 mm/tahun. Selain itu DAS Karang Mumus tergolong daerah yang datar (flat), sehingga menyebabkan kecepatan aliran pada sungai ini relatif rendah.

Dari berbagai kondisi di wilayah SubDAS Karang Mumus, banjir adalah bencana alam yang paling sering terjadi pada SubDAS ini. Karena subDAS ini merupakan sebagian besar dari wilayah Samarinda, secara otomatis banjir yang terjadi akan berdampak pada kota Samarinda itu sendiri.



(Sumber : Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Kaltim, 2011)

Gambar 1.1 Peta Area Potensi Genangan Banjir di SubDAS Karang Mumus

Banjir di Samarinda terjadi hampir setiap tahun dan selalu berulang, khususnya pada musim penghujan. Durasi, tinggi dan luas genangan banjir yang terjadi sangat bervariasi, berdasarkan informasi yang diperoleh pada harian *Kaltim*

Post (2014), durasi banjir yang terjadi berkisar antara 3-10 jam dengan ketinggian air antara 0,3-1,5 m, sedangkan luas genangan terbesar terdapat di daerah Lempake, dengan luas genangan mencapai ± 200 ha.

Untuk mengantisipasi banjir yang terjadi, pemerintah Samarinda telah melakukan beberapa upaya untuk menanggulangi permasalahan banjir tersebut, salah satunya dengan menggunakan bangunan pengendali banjir yaitu Waduk Benanga (atau biasa disebut Bendungan Lempake).

Tabel 1.1 Rekapitulasi Daerah Rawan Banjir Samarinda

No.	Kelurahan>Nama Jalan	Tinggi Genangan	Luas Genangan	Durasi
		(m)	(Ha)	(Jam)
1	Sempaja Selatan	0.4 – 0.6	20	4
2	Sempaja Utara	0.5 – 1.5	50	8
3	Lempake	0.4 – 0.6	200	8
4	Gunung Lingai	0.4 – 0.6	50	8
5	Sungai Pinang Dalam	0.4 – 0.6	30	5
6	Sungai Siring	0.4 – 1.0	50	10
7	Lempake (Simpang 3)	0.3 – 0.6	3	3
8	Temindung Permai	0.3 – 0.6	5	6
9	Bandara Temnidung (Jl. Gatot Subroto)	0.3 – 0.8	5	6
10	Simpang Pinang Dalam	0.5 - 0.8	15	8
11	Simpang 4 Jl. Agus Salim	0.3 – 0.5	1	4
12	Sidomulyo	0.3 – 0.5	1	4
13	Sidodamai	0.3 – 0.5	1	4
14	Jl. Mulawarman	0.3 – 0.6	0.2	4
15	Simpang 4 Jl. Pang. 5 Batur	0.3 – 0.5	0.2	4
16	Jl. Awang Long	0.3 – 0.5	0.5	3
17	Rapak Dalam	0.4 – 0.7	40	6
18	Tani Aman	0.4 – 0.8	30	6
19	Sungai Kaledang	0.3 – 0.6	3	5
20	Loa Bakung	0.3 – 0.6	10	6
21	Karang Asam Ilir	0.3 – 0.5	0.5	5

No.	Kelurahan>Nama Jalan	Tinggi Genangan	Luas Genangan	Durasi
		(m)	(Ha)	(Jam)
22	Loa Bahu	0.3 – 0.6	10	5
23	Air Putih	0.3 – 0.6	15	5
24	Air Hitam	0.3 – 0.6	3	4
25	Voorvo-Jl. Dr. Soetomo	0.3 – 0.6	5	6
26	Gn. Kelua & Jl. Pramuka	0.3 – 0.6	10	5

Sumber : Pemerintah Kota Samarinda

Dengan dibangunnya waduk Benanga diharapkan mampu mereduksi debit limpasan yang mengalir menuju Sungai Karang Mumus, namun berdasarkan data tahun 2001 dan 2010 yang diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Kaltim, diketahui bahwa terdapat penurunan kapasitas tampungan dari waduk Benanga, hal ini disebabkan oleh adanya peningkatan sedimentasi.

Adanya penurunan kapasitas waduk, maka terdapat indikasi jika waduk tidak mampu mereduksi debit limpasan yang menuju sungai Karang Mumus. Oleh sebab itu perlu dikaji tentang seberapa besar pengaruh dari perubahan kapasitas waduk terhadap kemampuan sungai dalam mengalirkan debit limpasan yang terjadi, dalam hal ini adalah Sungai Karang Mumus. Selain adanya perubahan kapasitas waduk, tinjauan terhadap peningkatan elevasi muka air pada sungai Karang Mumus dapat diakibatkan karena adanya debit tambahan dari aliran lateral yang berasal dari anak-anak sungai Karang Mumus dan adanya pengaruh pasang-surut Sungai Mahakam.

Pada pembahasan permasalahan nantinya akan dicoba dengan beberapa model skenario seperti perubahan muka air banjir dan kontrol terhadap kemampuan waduk dalam menampung debit periode ulang tertentu (Q5, Q10, Q20 dan Q50), skenario selanjutnya adalah dengan melakukan rekayasa terhadap penampang sungai atau penambahan Bangunan Pengendali banjir (Bendali). Dari beberapa skenario tersebut akan dipilih skenario mana yang cocok digunakan sebagai solusi permasalahan banjir. Untuk menganalisa beberapa skenario diatas

maka diperlukan beberapa perangkat lunak (*software*) pendukung seperti HEC-HMS, HEC-RAS, ArcView.

Dari berbagai indikasi penyebab banjir pada Sungai Karang Mumus, maka perlu dilakukan analisa terhadap beberapa solusi yang direncanakan guna mengatasi permasalahan banjir, oleh sebab itu penulis melakukan penelitian yang berkaitan dengan penanggulangan banjir Sungai Karang mumus dengan judul ***“Analisa Penanggulangan Banjir Sungai Karang Mumus Samarinda”***.

1.2 Permasalahan

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka pada penelitian ini dapat diambil beberapa fokus permasalahan, diantaranya :

1. Bagaimana kemampuan sungai untuk mengalirkan debit banjir pada kondisi eksisting ?
2. Bagaimana profil muka air Sungai Karang Mumus akibat debit eksisting ?
3. Bagaimana kemampuan reduksi debit banjir setelah adanya penerapan model skenario penanggulangan banjir ?
4. Bagaimana profil muka air sungai Karang Mumus setelah adanya penerapan model skenario penanggulangan banjir ?
5. Bagaimana solusi penanggulangan banjir yang dapat diaplikasikan pada Sungai Karang Mumus ?

1.3 Tujuan Penelitian

Dari fokus permasalahan yang telah diperoleh, maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui kemampuan sungai Karang Mumus akibat debit banjir yang mengalir pada kondisi eksisting.
2. Mengetahui profil muka air Sungai Karang Mumus akibat debit kondisi eksisting yang mengalir.
3. Mengetahui kemampuan reduksi debit banjir setelah penerapan model skenario penanggulangan banjir.

4. Mengetahui profil muka air Sungai Karang Mumus setelah penerapan model skenario penanggulangan banjir.
5. Mengetahui solusi dan menyusun rekomendasi penanggulangan banjir yang dapat diaplikasikan pada Sungai Karang Mumus.

1.4 Batasan Permasalahan

Dalam proses analisa pada penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah agar pembahasan lebih fokus terhadap penyelesaian permasalahan, diantaranya :

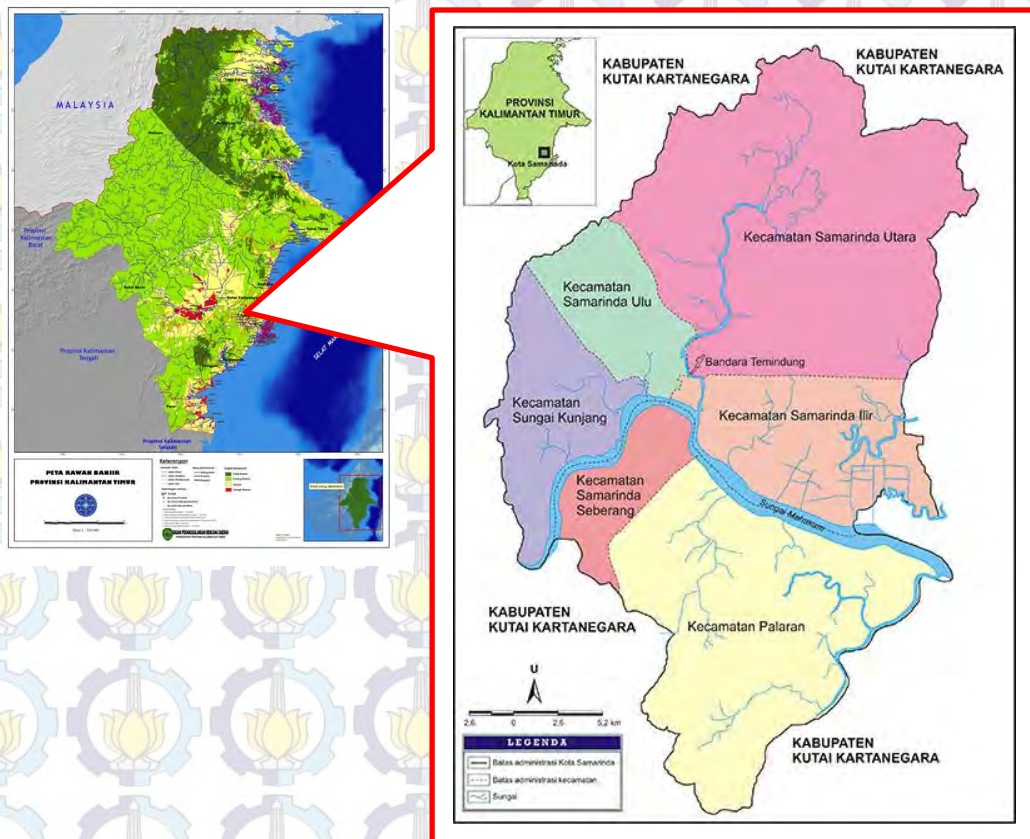
- Analisa muka air SKM hanya pada bagian ruas sungai Karang Mumus setelah outlet waduk Benanga sampai muara sungai.
- Tidak melakukan evaluasi terhadap drainase sekunder dan tersier kota samarinda.
- Lengkung kapasitas waduk yang digunakan adalah lengkung kapasitas waduk pada tahun 2001 dan 2010.
- Tidak menghitung analisa biaya konstruksi
- Tidak melakukan tinjauan terhadap adanya bangunan lateral pada penampang sungai.
- Analisa hidrolika menggunakan analisa aliran 1 Dimensi
- Tidak meninjau masalah sosial.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari hasil studi ini nantinya diharapkan dapat memberikan informasi terhadap penyebab terjadinya banjir di wilayah studi, serta dapat memberikan alternatif metode manajemen dan penanggulangan banjir pada pemerintah Kota Samarinda khususnya pada Sungai Karang Mumus (SKM) dan sebagai bahan masukan/pertimbangan dalam proses penyusunan *Master Plan* Drainase Samarinda.

1.6 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di Sub DAS Karang Mumus, kota Samarinda, provinsi Kalimantan Timur, tepatnya pada koordinat $0^{\circ}17'30'' - 0^{\circ}30'00''$ LS dan $117^{\circ}06'00'' - 117^{\circ}22'00''$ BT dengan luas DAS ± 31475 Ha.



Gambar 1.2 Lokasi Penelitian



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Banjir

Banjir adalah sebuah peristiwa yang terjadi ketika aliran air yang berlebihan merendam daratan (wikipedia.org). Banjir merupakan permasalahan umum yang sering terjadi disebagian wilayah Indonesia, terutama di wilayah padat penduduk, misalnya dikawasan perkotaan. Kerugian yang ditimbulkan bisa sangat besar, baik dari segi materi maupun kerugian jiwa (Kodoatie, 2013).

Banjir disebabkan oleh banyak faktor, diantaranya :

Faktor Alami

- Curah Hujan

Pada musim penghujan curah hujan yang tinggi akan mengakibatkan banjir di sungai dan bilamana melebihi tebing sungai, maka akan timbul banjir atau genangan.

- Pengaruh Fisiografi

Fisiografi atau geografi fisik seperti bentuk dan kemiringan daerah aliran sungai (DAS), kemiringan sungai, geometri hidrolis (bentuk penampang seperti lebar, kedalaman, potongan memanjang dan material dasar sungai).

- Erosi dan Sedimentasi

Erosi pada DAS berpengaruh terhadap kapasitas penampungan sungai, karena tanah yang tererosi pada DAS tersebut akan terbawa oleh air dan mengendap pada bagian sungai yang memiliki kecepatan aliran yang rendah. Hal ini menyebabkan terjadinya sedimentasi pada sungai.

- Kapasitas Sungai

Pengurangan kapasitas aliran banjir pada sungai disebabkan oleh pengendapan yang berasal dari erosi dasar sungai dan tebing sungai yang berlebihan.

- Pengaruh Pasang Surut

Air laut memperlambat aliran sungai ke laut. Pada waktu banjir bersamaan dengan air pasang tertinggi, maka tinggi genangan/bannir menjadi lebih tinggi akibat adanya aliran balik (*back water*).

Faktor Kegiatan Manusia

- Perubahan kondisi daerah aliran sungai (DAS)

Perubahan kondisi DAS seperti penggundulan hutan, usaha pertanian maupun perluasan kota dapat memperparah masalah banjir, dimana berkurangnya daerah resapan dan meningkatnya debit limpasan serta erosi yang terjadi membuat sedimen sungai ikut meningkat.

- Kawasan Kumuh

Perumahan kumuh yang berada dibantaran sungai merupakan bagian dari penghambat aliran sungai.

- Sampah

Pembungan sampah pada alur sungai dapat meninggikan muka air karena menghalangi aliran.

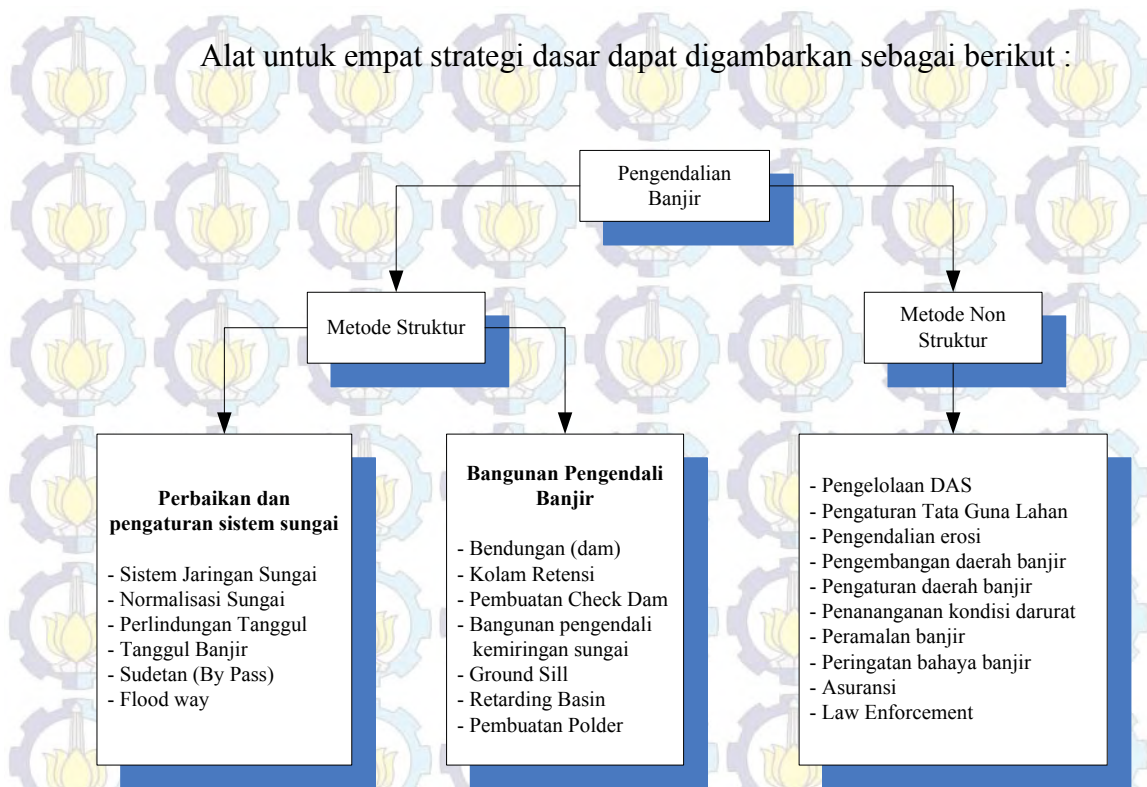
2.1.1 Pengendalian Banjir

Pengendalian banjir merupakan kegiatan perencanaan, pelaksanaan pekerjaan pengendalian banjir, eksploitasi dan pemeliharaan yang pada dasarnya dilakukan untuk mencegah terjadinya banjir.

Menurut Grigg (1996), ada 4 strategi dasar dalam pengelolaan daerah banjir, diantaranya :

- Modifikasi kerentanan dan kerugian banjir (penentuan zona atau pengaturan tata guna lahan)
- Modifikasi banjir yang terjadi (pengurangan) dengan bantuan pengontrol (waduk) atau normalisasi sungai.
- Modifikasi dampak banjir dengan penggunaan teknik mitigasi seperti asuransi dan penghindaran banjir (flood Proofing)
- Pengaturan peningkatan kapasitas alam untuk dijaga kelestariannya seperti penghijauan.

Alat untuk empat strategi dasar dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.1 Pengendalian banjir dengan metode non struktur dan struktur

2.2 Sungai

Sungai adalah aliran air yang besar dan memanjang, yang mengalir secara terus menerus dari hulu (sumber) menuju hilir (muara). Sungai merupakan salah satu bagian dari siklus hidrologi. Air dalam sungai umumnya terkumpul dari presipitasi, seperti hujan, embun, mata air, limpasan bawah tanah dan di beberapa negara tertentu air sungai juga berasal dari lelehan es/salju. Selain air, sungai juga mengalirkan sedimen dan polutan (*Wikipedia.org*, 2014).

Menurut Peraturan Pemerintah Indonesia (PP. No. 35 Tahun 1991), sungai didefinisikan sebagai berikut :

- Sungai adalah tempat-tempat dan wadah-wadah serta jaringan pengaliran air mulai dari mata air sampai muara dengan dibatasi kanan-kirinya serta pengalirannya oleh garis sempadan.
- Ditinjau dari penampang melintangnya, bagian utama dari sungai adalah paling sungai (*main river*). Perbandingan antara lebar dan kedalaman air pada palung sungai bisa besar sekali.

2.3 Analisa Hidrologi

Analisa hidrologi adalah proses analisa terhadap data hidrologi seperti data hujan, debit, suhu, temperatur, penyinaran matahari dsb, yang nantinya akan diperoleh besaran dari debit banjir rencana dan hidrograf banjir.

2.3.1 Curah Hujan

Curah hujan adalah jumlah air yang jatuh dipermukaan tanah datar selama periode tertentu yang diukur dengan satuan tinggi (mm). Data curah hujan yang terjadi disuatu wilayah adalah hujan yang terjadi disuatu titik saj (point rainfall). Sehingga, apabila akan melakukan perhitungan hujan rencana maka sebaiknya diperlukan lebih dari satu stasiun hujan.

Perhitungan curah hujan rencana sangat penting dalam analisa hidrologi. Terdapat banyak metode yang dapat digunakan pada perhitungan curah hujan rencana pada suatu DAS, diantaranya metode Aljabar, metode Poligon Thiessen dan Isoyet. Pemilihan metode perhitungan yang cocok pada suatu DAS tergantung pada beberapa faktor, Suripin (2004) membagi beberapa kriteria dalam penggunaan metode perhitungan curah hujan, yaitu :

Tabel 2.1 Kriteria Penentuan Metode Perhitungan Curah Hujan

No.	Jenis Kriteria	Metode yang dapat digunakan
1	<i>Jaring-jaring penakar hujan</i>	
a.	Jumlah pos penakar hujan cukup banyak	Aljabar, Thiessen atau Isohyet
b.	Jumlah Pos penakar hujan terbatas	Aljabar atau Thiessen
c.	Jumlah penakar hujan tunggal	Metode hujan titik
2	<i>Luas DAS</i>	
a.	$> 5000 \text{ km}^2$	Isohyet
b.	$500 - 5000 \text{ km}^2$	Thiessen

No.	Jenis Kriteria	Metode yang dapat digunakan
c.	< 500 km ²	Aljabar
3	<i>Tofografi DAS</i>	
a.	Pegunungan	Aljabar
b.	Daratan	Thiessen
c.	Berbukit tidak beraturan	Isohyet

Berikut penjelasan dari beberapa metode perhitungan hujan :

Metode Aljabar

Metode ini adalah metode paling sederhana, yaitu dengan melakukan perataan pada presipitasi/hujan yang diperoleh dari seluruh alat/stasiun penakar hujan yang digunakan. Cara ini dianggap cukup memadai sepanjang digunakan pada daerah yang cukup landai dengan variasi hujan yang cukup besar serta penyebaran alat/stasiun hujan seragam.

Perumusan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$R = \frac{1}{n} (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n) \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana :

R = Curah hujan rata-rata

n = Jumlah Sta. hujan

R₁+R₂+R₃+R_n = Curah hujan rerata tahunan disetiap titik pengamatan (Sta. Hujan)

Metode Poligon Thiessen

Metode ini memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun hujan yang mewakili luasan disekitarnya. Pada suatu luasan didalam DAS dianggap bahwa hujan adalah sama dengan yang terjadi pada stasiun terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu stasiun hujan mewakili wilayah tersebut.

Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan disuatu wilayah tidak merata, pada metode ini stasiun hujan yang digunakan minimal 3 (tiga) buah stasiun hujan. Perhitungan curah hujan rata-rata dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh dari setiap stasiun hujan.

Menurut Triatmodjo (2008), metode poligon Thiessen banyak digunakan untuk menghitung hujan rata-rata kawasan. Poligon thiessen adalah tetap untuk suatu jaringan stasiun hujan tertentu. Apabila terdapat perubahan jaringan stasiun hujan seperti pemindahan atau penambahan, maka harus dibuat kembali poligon yang baru.

Metode perhitungan Thiessen poligon dilakukan dengan cara membuat poligon yang memotong tegak lurus pada tengah-tengah garis penghubung antara 2(dua) stasiun. Dengan demikian stasiun penakar Rn akan terletak pada suatu poligon tertentu An.

Dengan menghitung perbandingan luas untuk setiap stasiun yang besarnya = A_n/A , dimana A adalah luas daerah penampungan atau jumlah luas seluruh areal yang ditinjau. Curah hujan rata-rata diperoleh dengan menjumlahkan masing-masing stasiun hujan yang mempunyai daerah pengaruh. Perhitungan mengikuti cara dibawah ini :

$$d = \frac{A_1 \cdot d_1 + A_2 \cdot d_2 + A_3 \cdot d_3 + \dots + A_n \cdot d_n}{A} = \sum \frac{A_i \cdot d_i}{A} \quad (2.2)$$

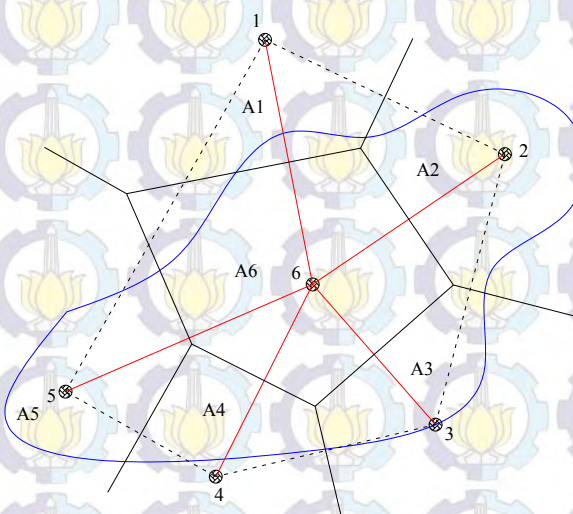
dimana :

A = Luas Areal (km^2)

d = Tinggi curah hujan rata-rata areal

$d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ = Tinggi curah hujan di stasiun yang ditinjau

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ = Luas daerah pengaruh stasiun hujan



Gambar 2.2 DAS dengan perhitungan curah hujan poligon Thiessen

Metode Isohyet

Isohyet adalah garis yang menghubungkan titik-titik dengan kedalaman hujan yang sama. Pada metode Isohyet, dianggap bahwa hujan pada suatu daerah diantara dua garis Isohyet adalah merata dan sama dengan nilai rata-rata dari kedua garis Isohyet tersebut.

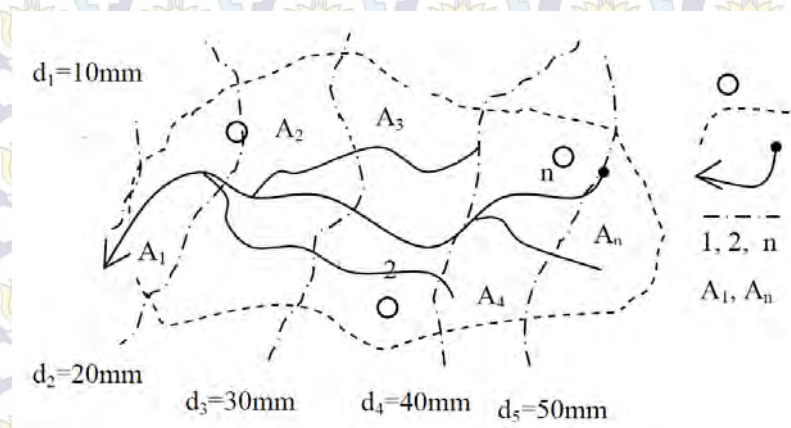
Metode Isohyet merupakan cara paling teliti untuk menghitung kedalaman hujan rata-rata disuatu daerah. Pada metode ini stasiun hujan harus cukup banyak dan tersebar merata, metode Isohyet membuthkan pekerjaan dan perhatian lebih banyak dibanding dua metode lainnya, (Triatmodjo, 2008).

Berikut merupakan persamaan dalam perhitungan metode Isohyet :

$$d = \frac{\left(\frac{d_0 + d_1}{2} \cdot A_1\right) + \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \cdot A_2\right) + \dots + \left(\frac{d_{n-1} + d_n}{2} \cdot A_n\right)}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.3)$$

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_{i-1} + d_i}{2} \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2.4)$$

(Sumber : Soemarto, CD.1993)



Gambar 2.3 Metode Isohyet

dimana :

d = Curah hujan rata-rata (mm)

$A_1 \dots A_n$ = Luas daerah untuk ketinggian curah hujan Isohyet yang berdekatan (km^2)

$d_1 \dots d_n$ = Curah hujan digaris Isohyet (mm)

A = Luas total ($A_1 + A_2 + \dots + A_n$)

2.3.2 Analisa Distribusi Frekwensi

Analisa frekwensi dilakukan untuk menentukan besaran hujan dengan periode ulang tertentu. Metode analisa distribusi yang biasa digunakan pada perhitungan adalah :

- Metode Normal
- Metode Log Normal 2 Parameter
- Metode Log Pearson III
- Metode Gumbel Tipe I

Dari beberapa metode diatas berikut merupakan penjelasan dari masing-masing metode :

a. Metode Distribusi Normal

Distribusi Normal merupakan fungsi komulatif normal atau yang dikenal dengan Distribusi Gauss. Distribusi normal memiliki kerapatan probabilitas yang dituangkan dalam persamaan berikut :

$$P(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \times e^{-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{X-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (2.5)$$

dimana :

$P(X)$ = Peluang terjadinya X

π = 3.14159

e = 2.71828 (bilangan natural)

X = Variabel acak kontinu

μ = Rata-rata nilai X

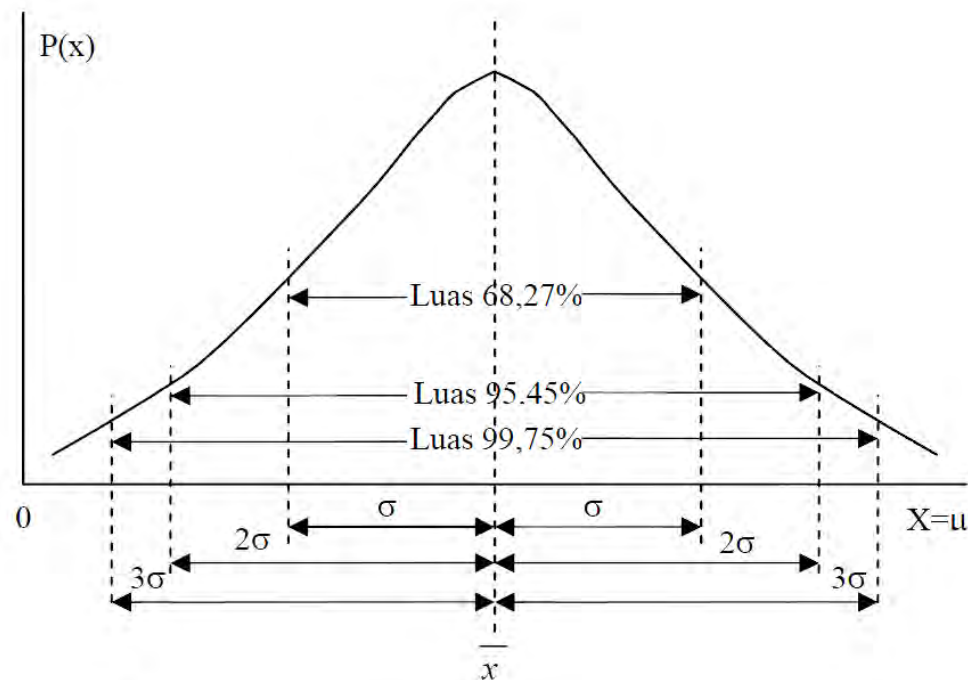
σ = Deviasi standar dari nilai X

(Sumber : Soewarno, 1995)

Apabila sebuah populasi dari data hidrologi mempunyai distribusi normal maka :

- Kira-kira 68,27% terletak didaerah satu deviasi standar sekitar nilai rata-ratanya, yaitu antara $(\mu - \sigma)$ dan $(\mu + \sigma)$.

- b. Kira-kira 95,45% terletak didaerah satu deviasi standar sekitar nilai rata-ratanya, yaitu antara $(\mu - 2\sigma)$ dan $(\mu + 2\sigma)$.
- c. Kira-kira 99,73% terletak didaerah satu deviasi standar sekitar nilai rata-ratanya, yaitu antara $(\mu - 3\sigma)$ dan $(\mu + 3\sigma)$.
- d. Sedangkan nilai 50%-nya terletak didaerah antara $(\mu - 0,6745\sigma)$ dan $(\mu + 0,6745\sigma)$.



Gambar 2.4 Kurva Distribusi Frekwensi Normal

Dalam pemakaian praktis, digunakan rumus umu sebagai berikut :

$$X_t = \bar{X} + k \times S \quad (2.6)$$

dimana :

X_t = Perkiraan nilai X yang diharapkan terjadi dengan periode ulang t tahun.

\bar{X} = Nilai rata-rata hitung variat X

S = Deviasi standar nilai variat X

k = Faktor frekwensi, merupakan fungsi dari periode ulang dan tipe model matematik distribusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang (Nilai reduksi Gauss, lihat **Tabel 2.2**).

Tabel 2.2 Nilai Reduksi Gauss

No.	Periode Ulang T (Tahun)	Peluang	k
1.	1,001	0,999	-3,05
2.	1,005	0,995	-2,58
3.	1,010	0,990	-2,33
4.	1,050	0,950	-1,64
5.	1,110	0,900	-1,28
6.	1,250	0,800	-0,84
7.	1,330	0,750	-0,67
8.	1,430	0,700	-0,52
9.	1,670	0,600	-0,25
10.	2,000	0,500	0
11.	2,500	0,400	0,25
12.	3,330	0,300	0,52
13.	4,000	0,250	0,67
14.	5,000	0,200	0,84
15.	10,000	0,100	1,28
16.	20,000	0,050	1,64
17.	50,000	0,020	2,05
18.	100,000	0,010	2,33
19.	200,000	0,005	2,58
20.	500,000	0,002	2,88
21.	1000,000	0,001	3,09

Sumber : (Bonnier, 1980)

b. Metode Log Normal

Distribusi Log Normal 2 Parameter mempunyai persamaan transformasi, sebagai berikut :

$$P(X) = \frac{1}{(X)(S)(\sqrt{2\pi})} \times \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{\log(X) - \bar{\log(X)}}{S} \right)^2 \right\} \quad (2.7)$$

dimana :

$P(X)$ = Peluang terjadinya distribusi log normal sebesar X

X = Nilai variat pengamatan

$\bar{\log(X)}$ = Nilai rata-rata dari logaritmik variat X , umumnya dihitung nilai rata-rata geometriknya.

S = Deviasi standar dari logaritmik nilai variat X

(Sumber : Soewarno, 1995)

Aplikasi distribusi log normal 2 (dua) parameter untuk menghitung nilai variat X yang mempunyai periode ulang t tahun memiliki persamaan sebagai berikut :

$$\log(X_t) = \bar{\log(X)} + k \times S \log(X) \quad (2.8)$$

dimana :

$\log(X_t)$ = Nilai variat X yang diharapkan terjadi pada peluang atau periode ulang t tahun

$\bar{\log(X)}$ = Rata-rata nilai $\log(X)$

$S \log(X)$ = Deviasi standar logaritmik nilai $\log(X)$

k = Karakteristik dari distribusi log normal 2 (dua) parameter.

(Sumber : Soewarno, 1995)

Nilai k dapat diperoleh dari tabel yang merupakan fungsi dari periode ulang dan nilai koefisien variasinya (lihat **Tabel 2.3**).

2.3.3 Uji Kesesuaian Distribusi Frekwensi

Untuk menentukan kecocokan (*the goodness of fit*) distribusi frekwensi (empiris) dari sampel data terhadap fungsi distribusi peluang (frekwensi teoritis) yang diperkirakan yang dapat mewakili distribusi empiris tersebut, diperlukan pengujian secara statistik. Pemeriksaan uji kesesuaian bertujuan untuk mengetahui kebenaran dari suatu hipotesa, sehingga diketahui :

1. Kebenaran antara hasil pengamatan dengan model distribusi yang diharapkan atau didapat secara teoritis.

2. Kebenaran hipotesa (hasil model distribusi diterima atau ditolak)

Terdapat 2 (dua) metode pengujian yang lazim digunakan, yaitu Uji Chi Kuadrat, dan uji Smirnov-Kolmogorof. Berikut penjelasan dari kedua metode diatas :

a. Metode Uji Chi Kuadrat

Uji Chi Kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Pengambilan keputusan pada uji ini menggunakan parameter X^2 . Parameter X^2 dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$Xh^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

X_h^2 = Parameter Chi Kuadrat terhitung

G = Jumlah sub-kelompok

O_i = Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke-i

E_i = Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke-i

(Soewarno, 1995)

Prosedur uji chi :

1. Urutkan data pengamatan (dari besar kekecil atau sebaliknya)
2. Kelompokkan data menjadi G sub-grup, tiap-tiap sub grup minimal 4 data pengamatan.
3. Jumlahkan data pengamatan sebesar O_i tiap-tiap sub-grup
4. Jumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar E_i
5. Tiap-tiap sub-grup hitung nilai

Interpretasi hasilnya adalah :

1. Apabila peluang lebih besar dari 5%, maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
2. Apabila peluang lebih kecil dari 1%, maka persamaan distribusi yang digunakan tidak dapat diterima.
3. Apabila peluang berada diantara 1% sampai 5%, maka persamaan tidak dapat diterima/tidak memenuhi.

b. Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov sering juga disebut dengan uji kecocokan non parametrik, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Uji ini diperoleh dengan memplot data dan probabilitas dari data yang bersangkutan serta hasil perhitungan empiris dalam bentuk grafis. Dari kedua hasil *plotting* dapat diketahui penyimpangan terbesar. Penyimpangan tersebut kemudian dibandingkan dengan penyimpangan kritis yang diijinkan.

2.4 Koefisien Pengaliran (C)

Koefisien pengaliran (C) adalah perbandingan antara air yang mengalir dipermukaan tanah (*surface runoff*) dengan air hujan yang terjadi. Besarnya debit banjir rencana dipengaruhi oleh besarnya nilai koefisien pengaliran atau koefisien limpasan yang tergantung pada penggunaan lahan (*land use*), jenis tanah dan topografi daerah pengaliran.

Tabel 2.3 Nilai Koefisien pengaliran (C)

No.	Kondisi daerah pengaliran dan sungai	Harga C
1.	Daerah pegunungan yang curam	0,75 – 0,90
2.	Daerah pegunungan tersier	0,70 – 0,80
3.	Tanah bergelombang dan hutan	0,50 – 0,75
4.	Tanah dataran yang ditanami	0,45 – 0,60
5.	Persawahan yang diairi	0,70 – 0,80
6.	Sungai didaerah pegunungan	0,75 – 0,80

No.	Kondisi daerah pengaliran dan sungai	Harga C
7.	Sungai kecil didataran	0,45 – 0,75
8.	Sungai besar yang lebih besar dari setengah daerah pengalirannya terdiri dari daratan	0,50 – 0,75

Sumber : (Sosrodarsono, S, 1987)

2.5 Analisa Debit Banjir Rencana

Perhitungan kemampuan Sungai Karang Mumus untuk menerima debit banjir yang terjadi, beberapa metode yang digunakan untuk menghitung debit banjir, salah satunya adalah metode hidrograf satuan sintetis HEC-HMS (*SCS Curve Number*). Berikut penjelasan dari metode diatas :

Metode HEC-HMS (*SCS Curve Number*)

Metode *SCS (Soil Conservation Service) Curve Number* adalah metode perhitungan aliran limpasan yang dikembangkan oleh United State of Agriculture (USDA) dan metode ini mengestimasi limpasan hujan dari curah hujan (Hjelmfelt,1991).

Hidrograf tak berdimensi *SCS* adalah hidrograf satuan sistetis, dimana debit dinyatakan sebagai nisbah debit q terhadap debit puncak q_p dan waktu dalam t .

Metode *SCS* berusaha mengaitkan karakteristik DAS seperti tanah, vegetasi dan tata guna lahan dengan bilangan kurva air limpasan (*runoff curve number*) yang menunjukkan potensi air limpasan untuk curah hujan tertentu (Asdak,2004). Nilai *CN* merupakan fungsi dari penggunaan lahan dan tanah dari suatu DAS. Estimasi nilai *CN* ditentukan berdasarkan batas penggunaan lahan dan kategori tanah yang spesifik dalam batas DAS.

Estimasi Nilai *Curve Number*

Nilai bilangan kurva (*Curve Number*) pada metode *SCS-CN* ditentukan berdasarkan kombinasi dari penggunaan lahan, tanah dan kondisi kelembaban tanah sebelumnya (*AMC*) (Helley et al, 2005). Pendugaan nilai *CN* dapat diawali dengan menentukan jenis kelompok tanah.

SCS mengembangkan sistem klasifikasi tanah berdasarkan sifat-sifat tanah, peta tanah detail atau laju infiltrasi tanah (Arsyad, 1989).

Klasifikasi kelompok tanah pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4 Klasifikasi Jenis Tanah

No.	Kelas Tanah	Karakteristik Tanah	Laju Infiltrasi (cm/jam)
1	A	Pasir dalam, loess dalam, debu yang beragregat	0.78 – 1.14
2	B	Loess dangkal, lempung berpasir	0.38 – 0.78
3	C	Lempung berlian, lempung berpasir dangkal, tanah kadar bahan organik rendah dan tanah berkadar liat tinggi	0.13 – 0.38
4	D	Tanah-tanah yang mengembang secara nyata, jika basah liat berat, dan tanah-tanah saline tertentu	< 0.13

Sumber : SCS, 1972

Tabel 2.5 Klasifikasi Sifat Hidrologi Berdasarkan Tekstur Tanah

No.	Kelas Tekstur	Kapasitas Efektif Air (in/in)	Nilai Infiltrasi Minimum (in/hari)	SCS Kelompok Hidrologi Tanah
1	Pasir	0.35	0.27	A
2	Pasir Bergeluh	0.31	2.41	A
3	Geluh Berpasir	0.25	1.02	B
4	Geluh	0.19	0.52	B
5	Geluh Berdebu	0.17	0.27	C
	Geluh Lempung Berpasir	0.14	0.17	C
6	Geluh Berlempung	0.14	0.09	D
7	Geluh Lempung Berdebu	0.11	0.06	D
8	Lempung Berpasir	0.09	0.05	D

No.	Kelas Tekstur	Kapasitas Efektif Air (in/in)	Nilai Infiltrasi Minimum (in/hari)	SCS Kelompok Hidrologi Tanah
9	Lempung Berdebu	0.09	0.04	D
10	Lempung	0.08	0.03	D

Sumber : Arsyad, 1989

Catatan :

Kementrian Pekerjaan Umum Republik Indonesia mendefinisikan Tanah Geluh sebagai jenis tanah yang baik dalam keadaan kering tidak seperti berlemak, mempunyai daya susut muai yang tidak kecil dalam keadaan basah dan kering.

Geluh bersifat remah, lembab dan mudah mengikat air dan nutrisi sehingga ideal untuk digunakan dalam pertanian.

Berdasarkan kelompok tanah maka dapat ditentukan nilai Curve Number (CN) pada suatu DAS dengan menambahkan informasi penggunaan lahan yang ada. Klasifikasi kompleks penggunaan lahan SCS terdiri atas 3 (tiga) faktor, yaitu (Arsyad, 1989) :

- Penggunaan Lahan
- Perlakuan atau tindakan yang diberikan pada penggunaan lahan
- Kondisi hidrologi dari penggunaan lahan

Penentuan nilai CN dapat dilihat pada Tabel. dan untuk lebih lengkapnya terdapat pada *HEC-HMS Technical Manual*, 144.

Nilai CN juga dipengaruhi oleh kondisi AMC (Antecedent Moisture Categories) atau nilai kelembaban sebelumnya. Nilai AMC dipengaruhi nilai volume dan laju aliran permukaan. Terdapat 3 (tiga) klasifikasi nilai AMC, yang diberi tanda angka romawi I, II, dan III (Craciun et al, 2007). Nilai CN pada Tabel menunjukkan nilai CN pada kondisi AMC II. Klasifikasi kelompok AMC didasarkan pada (Arsyad, 1989) :

- a. Kondisi I : Tanah dalam keadaan kering tetapi tidak sampai titik layu; pernah ditanami dengan hasil yang memuaskan
- b. Kondisi II : Keadaan rata-rata

c. Kondisi III : Hujan lebat atau hujan ringan dan temperatur rendah telah terjadi dalam lima hari terakhir; tanah jenuh

Nilai AMC juga dapat didekati dengan nilai curah hujan pada 5 hari sebelumnya (**Tabel 2.6**).

Tabel 2.6 Klasifikasi Nilai CN Pada Kondisi AMC II

No.	Penggunaan Lahan		Kelompok Hidrologi Tanah			
			A	B	C	D
1.	Pemukiman					
	Luas Kapling (m ²)	Persentase Rata-rata Kedap Air				
	a. ≤500	65	77	85	90	92
	b. 1000	38	61	75	83	87
	c. 1300	30	57	72	81	86
	d. 2000	25	54	70	80	85
	e. 4000	20	51	68	79	84
2.	Tempat parkir diaspal, atap dan jalan raya		98	98	98	98
3.	Jalan Umum					
	a. Beraspal		98	98	98	98
	b. Kerikil		76	85	89	91
	c. Tanah		72	82	87	89
4.	Kebun Campuran		45	66	77	83
5.	Daerah Industri (72% kedap air)		81	88	91	93
6.	Tempat Terbuka, padang rumput yang dipelihara					
	a. Kondisi baik, 75% tertutup rumput		39	61	74	80
	b. Kondisi sedang 50-75% tertutup rumput		49	69	79	84
7.	Menurut Lereng		77	86	91	94
8.	Tanaman semusim dalam baris					
	a. Menurut lereng	Buruk	72	81	88	91
	b. Menurut lereng	Baik	67	78	85	89
	c. Menurut Kontur	Buruk	70	79	84	88
	d. Menurut Kontur	Baik	65	75	82	86
	e. kontur dan teras	Buruk	66	74	80	82
	f. Kontur dan teras	Baik	62	71	78	81

No.	Penggunaan Lahan		Kelompok Hidrologi Tanah			
			A	B	C	D
9.	Padi-padian					
	a. Menurut lereng	Buruk	65	76	84	88
	b. Menurut lereng	Baik	63	75	83	87
	c. Menurut Kontur	Buruk	63	74	82	85
	d. Menurut Kontur	Baik	61	73	81	84
	e. kontur dan teras	Buruk	61	72	79	82
	f. Kontur dan teras	Baik	59	70	78	81
10.	Leguminase ditanam rapat atau pergiliran tanaman padang rumput					
	a. Menurut lereng	Buruk	66	77	85	89
	b. Menurut lereng	Baik	58	72	81	85
	c. Menurut Kontur	Buruk	64	75	83	85
	d. Menurut Kontur	Baik	55	69	78	83
	e. kontur dan teras	Buruk	63	73	80	83
	f. Kontur dan teras	Baik	51	67	76	80
11.	Padang Rumput penggembalaan					
	a. Buruk		68	79	86	89
	b. Sedang		49	69	79	84
	c. Baik		39	61	74	80
	d. Menurut Kontur	Buruk	47	67	81	88
	e. Menurut Kontur	Sedang	25	59	75	83
	f. Menurut Kontur	Baik	6	35	70	79
	Padang rumput potong baik		30	58	71	78
12.	Hutan					
	a. Buruk		45	66	77	45
	b. Sedang		36	60	73	36
	c. Baik		25	55	70	25
13.	Perumahan Petani		59	74	82	86

Sumber : Arsyad, 1989

Tabel 2.7 Kondisi Kelembaban Tanah 5 Hari Sebelumnya

No.	Kelompok AMC Tanah	Jumlah Curah Hujan yang turun 5 hari sebelumnya (mm)
1.	AMC I (Kering)	< 35
2.	AMC II (Sedang)	35 – 53
3.	AMC III (Basah)	> 53

Sumber : Arsyad, 1988

Pada metode SCS Curve Number terdapat beberapa parameter, diantaranya :

SCS Curve Number Loss Model (Permodelan Kehilangan)

SCS mengestimasi kelebihan hujan sebagai fungsi gabungan dari hujan, tutupan lahan, penggunaan lahan, kelembaban sebelumnya, menggunakan persamaan :

$$e = \frac{(P - a)^2}{P + a}$$

$$I_a = 0.2 S$$

$$\frac{1000 - 10}{S}$$

da lam kaki (feet)

$$S = \frac{25400 - 254 CN}{CN} \rightarrow \text{dalam satuan SI}$$

$$CN_{\text{Composite}} = \frac{\sum A_i CN_i}{\sum A_i}$$

Sumber : HEC-HMS Technical Reference Manual, Hal 37

dimana :

P_e = Kelebihan hujan pada waktu t

P = Jumlah tinggi curah hujan pada waktu t

I_a = Initial Abstraction (Kehilangan Awal)

S = Potensi retensi maksimum

CN = Curve Number

SCS Unit Hydrograph Model (HSS SCS)

Penelitian oleh SCS mereferensikan unit hidrograf dan waktu puncak hidrograf dengan persamaan (*HEC-HMS Technical Reference Manual*, Hal : 55):

$$U_p = C \frac{A}{T_p}$$

$$T_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{lag}$$

$$t_{lag} = 0.6t_c$$

$$t_c = t_{sheet} + t_{shallow} + t_{channel}$$

$$t_{sheet} = \frac{0.007 (NL)^{0.8}}{(P_2)^{0.5} S^{0.4}}$$

untuk perhitungan $t_{channel}$ menggunakan persamaan yang digunakan pada daerah Bayern, Jerman (*Aplikasi Hidrologi, Hadisusanto, Nugroho (2010) Hal : 157*)

$$t_{channel} = \frac{L}{W}$$

$$W = 72 \left(\frac{\Delta H}{L} \right)^{0.60} \rightarrow \text{dalam satuan } \frac{\text{km}}{\text{jam}}$$

$$W = 72 \left(\frac{\Delta H}{L} \right)^{0.60} \rightarrow \text{dalam satuan } \frac{\text{m}}{\text{dt}}$$

dimana :

U_p = Puncak Unit Hidrograf

C = Angka Konversi (2.08 dalam SI dan 484 dalam feet)

A = Luas Catchment Area

T_p = Waktu Puncak

Δt = Durasi kelebihan hujan

t_{lag} = Waktu Jeda

t_c = Waktu konsentrasi

t_{sheet} = Waktu pengaliran pada lahan

$t_{shallow}$ = Waktu pengaliran pada segmen aliran dangkal

t_{channel}	= Waktu pengaliran pada segmen sungai/saluran
S	= Garis Kemiringan Hidrolis (Kemiringan sungai, <i>slope</i>)
P_2	= Curah hujan periode ulang 2th (inci)
N	= Koefisien Kekasaran permukaan Aliran (lihat lampiran)
W	= Kecepatan waktu tiba banjir
ΔH	= Beda tinggi antara titik terjauh sungai dengan outlet (m)
L	= Panjang sungai yaitu panjang horisontal dari titik teratas sampai titik outlet (km, m)

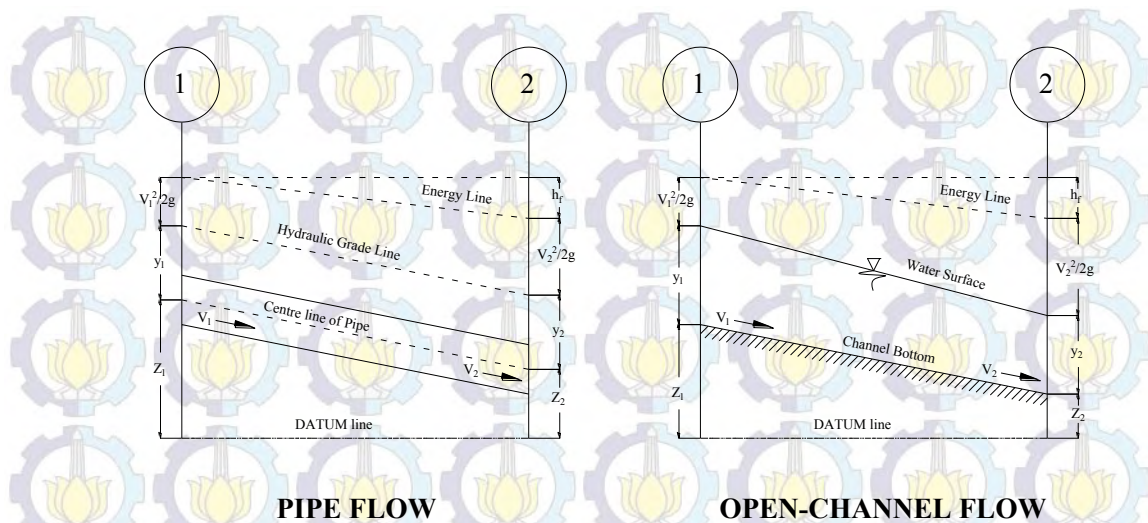
2.6 Analisa Hidrolika

Analisa hidrolika diperlukan untuk mengetahui kemampuan penampang sungai/saluran untuk menampung debit rencana. Sebagaimana telah dijelaskan pada subbab sebelumnya, bahwa salah satu penyebab banjir adalah ketidakmampuan penampang sungai/saluran dalam menampung debit banjir rencana yang terjadi.

2.6.1 Aliran Saluran Terbuka

Aliran air dalam suatu saluran dapat berupa aliran saluran terbuka (*open channel flow*) maupun aliran dalam pipa (*pipe flow*). Kedua jenis aliran tersebut sama dalam banyak hal, namun terdapat perbedaan dalam satu hal penting (Chow V.T., 1989).

Aliran pada saluran terbuka memiliki permukaan bebas (*free surface*), sedangkan aliran yang berada didalam pipa adalah sebaliknya, karena air harus mengisi seluruh permukaan pipa. Permukaan bebas dipengaruhi oleh tekanan udara, sedangkan aliran pipa tidak terpengaruh langsung oleh udara, kecuali oleh tekanan hidrolik.



Gambar 2.5 Perbandingan antara aliran pipa dengan aliran saluran terbuka

Tekanan yang ditimbulkan oleh air pada setiap penampang pipa ditunjukkan dalam tabung yang bersesuaian dengan kolom air setinggi y diatas garis tengah pipa. Jumlah energi dalam aliran dipenampang berdasarkan suatu garis persamaan adalah jumlah tinggi tempat z diukur dari garis tengah pipa, tinggi tekanan y dan tinggi kecepatan $\frac{V^2}{2g}$, dengan V adalah kecepatan rata-rata aliran.

Energi ini dinyatakan dalam gambar dengan suatu garis derajat energi (*energy grade line*) atau disingkat dengan garis energi (*energy line*). Energi yang hilang ketika air mengalir dari penampang 1 ke penampang 2 dinyatakan dengan h_f . Bagan serupa untuk aliran terbuka diperlihatkan dalam Gambar 2.7 sebelah kanan. Penyederhanaan dianggap bahwa aliran sejajar, kecepatannya seragam dan kemiringan salurannya kecil. Dalam hal ini permukaan air merupakan garis derajat hidrolis dan dalamnya air sama dengan tinggi tekanan.

Menurut hukum kekekalan energi, jumlah energi pada penampang 1 dan penampang 2 dihilir akan sama dengan jumlah tinggi h_f diantara kedua penampang, atau

$$z_1 + d_1 \cos \theta + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + d_2 \cos \theta + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_f \dots\dots\dots (2.20)$$

Persamaan ini berlaku untuk aliran sejajar atau berubah beraturan. Untuk suatu saluran yang kemiringannya kecil, persamaan diatas berubah menjadi :

$$z_1 + y_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + h_f \dots\dots\dots (2.21)$$

Kedua persamaan tersebut, dikenal dengan persamaan energi (energy Equation), jika $\alpha_1 = 1$ dan $h_f = 0$, persamaan (2.21) menjadi :

$$z_1 + y_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + h_f \dots\dots\dots (2.22)$$

Persamaan (2.22) adalah persamaan energi dari *Bernouli* yang sangat terkenal.

2.6.1.1 Tipe Aliran

Aliran pada saluran terbuka dapat dibagi menjadi banyak tipe. Penggolongan tipe aliran yang terjadi dalam saluran terbuka dapat didasarkan pada beberapa kriteria. Beberapa kriteria tersebut adalah :

- Kedalaman aliran (h)
- Terhadap waktu (t)
- Terhadap tempat (s)

Menurut Anggrahini (1997), aliran dapat dibedakan menjadi :

Menurut waktu sebagai kriteria

1. Aliran Tetap (*Steady Flow*)

Yaitu aliran dimana kedalaman air (h) tidak berubah menurut waktu atau dapat dianggap tetap dalam interval waktu, dengan demikian kecepatan aliran juga tidak berubah menurut waktu, $\frac{\partial h}{\partial t} = 0$ dan

$$\frac{\partial u}{\partial t} = 0.$$

2. Aliran Tidak Tetap (*Unsteady Flow*)

Yaitu aliran yang kedalamannya (h) berubah menurut waktu $\frac{\partial h}{\partial t} \neq 0$, demikian pula pada kecepatannya yang berubah menurut waktu

$$\frac{\partial u}{\partial t} \neq 0.$$

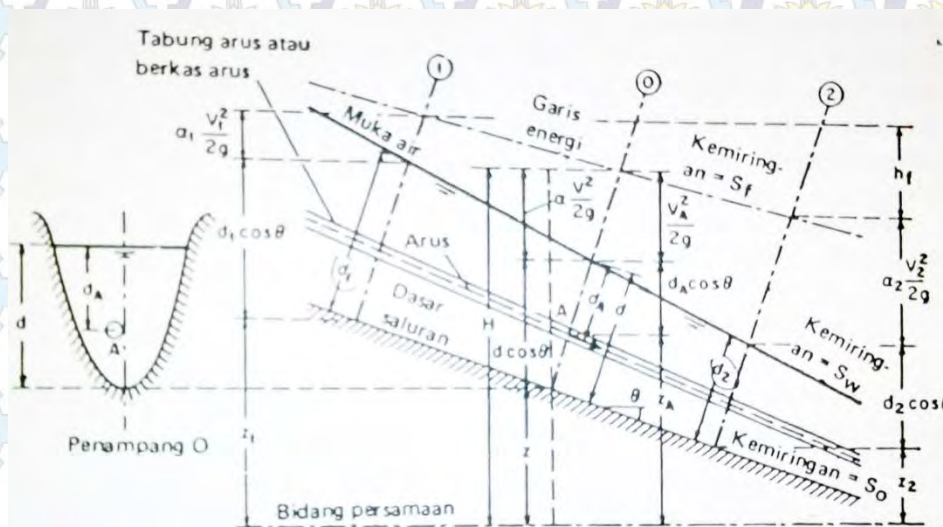
Dalam banyak hal, perhitungan saluran terbuka banyak dilakukan dengan mengasumsikan aliran sebagai aliran tetap, karena perhitungan aliran tetap lebih sederhana.

Menurut tempat sebagai kriteria

1. Aliran Seragam (*Uniform Flow*)

Aliran dikatakan seragam apabila kedalaman aliran (h) tidak berubah menurut tempat $\frac{\partial h}{\partial s} = 0$, dan kecepatannya juga tidak berubah terhadap tempat $\frac{\partial u}{\partial s} = 0$. Aliran seragam dapat pula tidak berubah menurut waktu dan berubah menurut waktu. Untuk aliran seragam yang tidak berubah menurut waktu (*steady uniform flow*) atau biasa disebut aliran beraturan dimana $\frac{\partial u}{\partial t} = 0$ dan $\frac{\partial u}{\partial s} = 0$.

Sedangkan untuk aliran seragam yang berubah menurut waktu bila fluktuasi muka air terjadi dari waktu ke waktu namun tetap paralel dengan dasar saluran. Aliran jenis ini disebut aliran seragam tidak tetap (*unsteady uniform flow*) dimana $\frac{\partial h}{\partial t} \neq 0$ tetapi $\frac{\partial u}{\partial s} = 0$. Dalam kondisi nyata, jenis aliran ini hampir tidak pernah terjadi, oleh karena itu aliran seragam hanya dipakai pada aliran tetap (*steady uniform flow*).

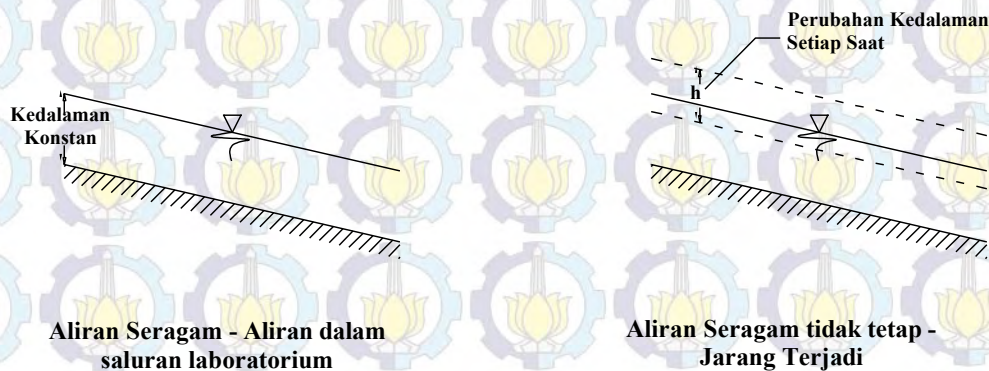


Gambar 2.6 Energi dalam aliran saluran terbuka berubah beraturan

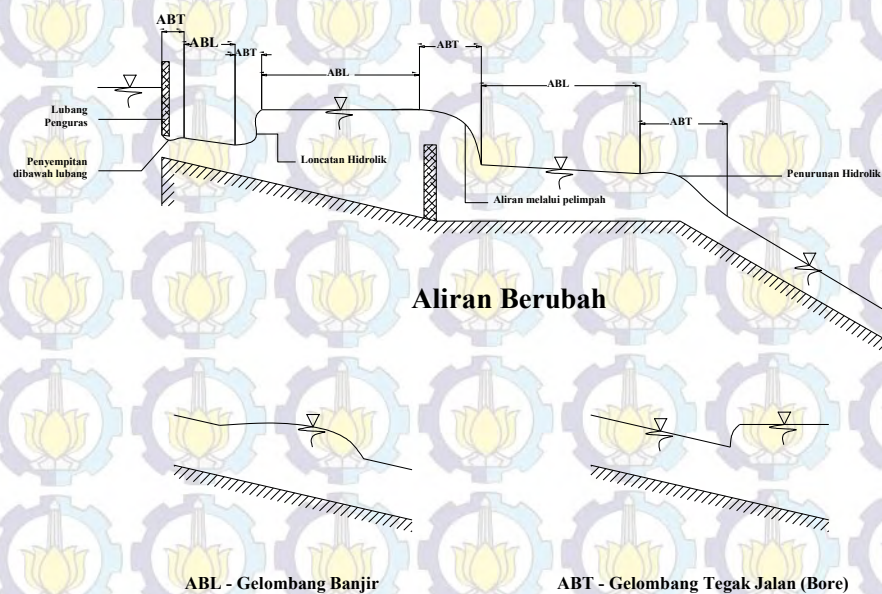
2. Aliran Tidak Seragam (*Non Uniform Flow*)

Yaitu aliran yang kedalaman alirannya (h) berubah-ubah menurut tempat disepanjang aliran $\frac{\partial h}{\partial s} \neq 0$, demikian pula dengan kecepatannya $\frac{\partial u}{\partial s} \neq 0$.

Aliran tidak seragam juga disebut aliran berubah-ubah (*varied flow*) yang dibedakan lagi menjadi aliran berubah lambat laun (*gradually varied flow*) dan aliran berubah dengan cepat (*rapidly varied flow*). Aliran berubah dengan cepat dikenal pula sebagai fenomena lokal, contohnya adalah loncatan air dan air terjun.



Gambar 2.7 Contoh berbagai tipe aliran (Anggrahini, 1997)



Gambar 2.8 Contoh berbagai tipe aliran (Anggrahini, 1997) - Lanjutan

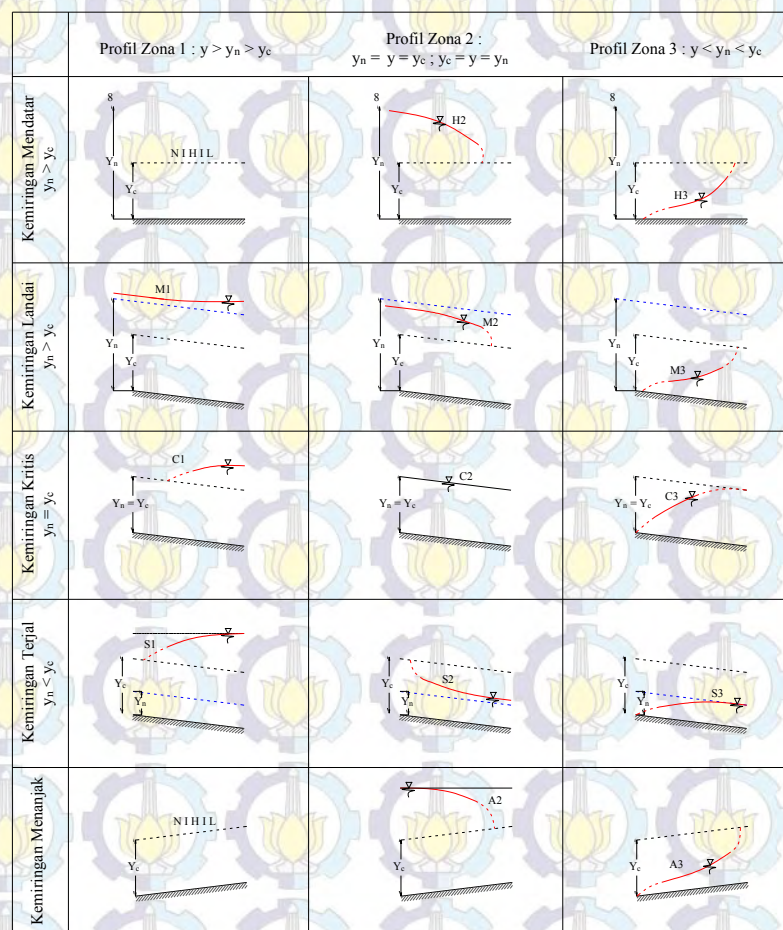
2.6.1.2 Aliran Berubah Lambat-laun

Perkembangan teori aliran berubah lambat-laun dimulai pada abad kedelapan belas. Banyak ahli hidrolika menyumbangkan andil dalam

perkembangan tersebut. Terdapat sebuah dasar yang menjadi landasan hal tersebut, yaitu :

“Kehilangan tinggi tekanan pada suatu penampang sama seperti pada aliran dengan kecepatan dan jari-jari hidrolis penampang yang sama”

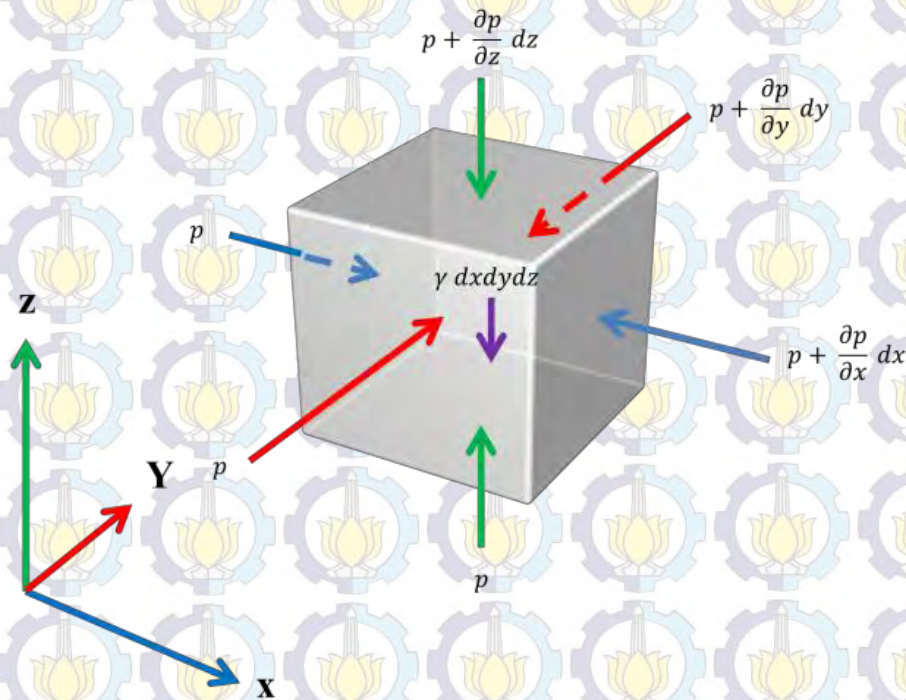
Menurut diatas, rumus aliran seragam dapat dipakai untuk menilai kemiringanenergi aliran berubah lambat laun pada penampang saluran tertentu, dan koefisien kekasaran yang semula dibuat untuk aliran seragam berlaku pula untuk aliran berubah lambat-laun. Anggapan ini tidak pernah dapat ditegaskan secara tepat menurut percobaan maupun teori-teori, tetapi kesalahan yang terjadi dianggap kecil dibandingkan dengan ketidaktepatan dalam pemakaian rumus aliran seragam dan pemilihan koefisien kekasarannya. Selama bertahun-tahun anggapan ini terbukti merupakan dasar yang baik untuk perancangan (Chow, 1989).



Gambar 2.9 Penggolongan profil aliran untuk aliran berubah lambat-laun

2.6.2 Persamaan Gerak dari Euler

Untuk aliran cairan yang tidak berkekentalan (*non-viscous*), Euler (1709-1783) menerapkan persamaan keseimbangan gaya-gaya yang bekerja pada suatu elemen cairan berbentuk *parallel eppipendum*.



Gambar 2.10 Skema tekanan pada permukaan suatu elemen cairan berbentuk parallel eppipendum

Dari skema pada Gambar 2.10 diketahui jumlah gaya-gaya yang bekerja diarah x adalah :

$$\begin{aligned}
 F_x &= p \, dy \, dz - \left[p + \frac{\partial p}{\partial x} dx \right] dy \, dz \\
 &= p \, dy \, dz - p \, dy \, dz - \frac{\partial p}{\partial x} dx \, dy \, dz \\
 \text{atau :} \\
 F_x &= - \frac{\partial p}{\partial x} dx \, dy \, dz \dots\dots\dots (2.23)
 \end{aligned}$$

Adapun jumlah gaya-gaya yang bekerja diarah y adalah :

$$F_y = p \, dy \, dz - \left[p + \frac{\partial p}{\partial y} dy \right] dx \, dz$$

$$= p \, dx \, dz - p \, dx \, dz - \frac{\partial p}{\partial y} dx \, dy \, dz$$

atau :

$$F_y = - \frac{\partial p}{\partial y} dx \, dy \, dz \dots\dots\dots (2.24)$$

Adapun jumlah gaya-gaya yang bekerja diarah **y** adalah :

$$F_z = p \, dy \, dz - \left[p + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right] dx \, dy$$

$$= p \, dx \, dy - p \, dx \, dy - \frac{\partial p}{\partial z} dx \, dy \, dz - p \, g \, dx \, dy \, dz$$

atau :

$$F_z = - \frac{\partial p}{\partial z} dx \, dy \, dz - p \, g \, dx \, dy \, dz \dots\dots\dots (2.24)$$

2.6.3 Deskripsi Parameter Model

2.6.3.1 Koefisien Manning (n)

Pada saluran sederhana koefisien kekasaran Mannin (n) dapat diasumsikan sama untuk semua bagian keliling basah saluran. Koefisien Manning tergantung pada jenis metrial dan kondisi kondisi saluran. Pada umumnya, nilai Manning sebaiknya dikalibrasikan dengan setiap pengamatan terhadap profil muka air.

Terdapat beberapa refrensi yang dapat digunakan dalam menentukan nilai “n”, salah satunya dengan mengacu pada hasil penelitian Ven te Chow pada bukunya yang berjudul “Hidrolika aluran Terbuka” (1959). Berikut merupakan hasil kasifikasi nilai n pada berbagai kondisi umum dari saluran. Nilai koefisien manning dapat dilihat pada lampiran.

2.6.3.1 Periode Ulang (*Return Period*)

Pada perencanaan bangunan hidrolis, maka diperlukan sebuah analisa hidrologi untuk menentukan kemungkinan debit maksimum yang terjadi. Dalam perhitungan debit maksimum tersebut, maka terdapat parameter “periode ulang” sebagai dasar perhitungan. Periode ulang menentukan lamanya umur bangunan,

besarnya dimensi bangunan, serta secara langsung akan berpengaruh pada tingginya biaya konstruksi.

Pemilihan suatu besaran nilai periode ulang yang digunakan untuk menentukan besaran debit banjir maksimum tergantung pada peruntukan dan jenis dari bangunan tersebut. **Tabel 2.4** menunjukkan beberapa kriteria dalam penentuan periode ulang, yaitu :

Tabel 2.8 Besaran Kala Ulang sesuai dengan Jenis Bangunan

No.	Jenis Bangunan	Kala Ulang Banjir (tahun)
1.	Bendungan urugan tanah (earth/rock fill)	1000
2.	Bendungan beton/batu kali (concrete dam/masonry)	500 – 1000
3.	Bendung (weir)	50 – 100
4.	Saluran pengelak banjir (flood diversion channel)	20 – 50
5.	Tanggul sungai	10 – 20
6.	Drainase saluran disawah/pemukiman	5 - 10

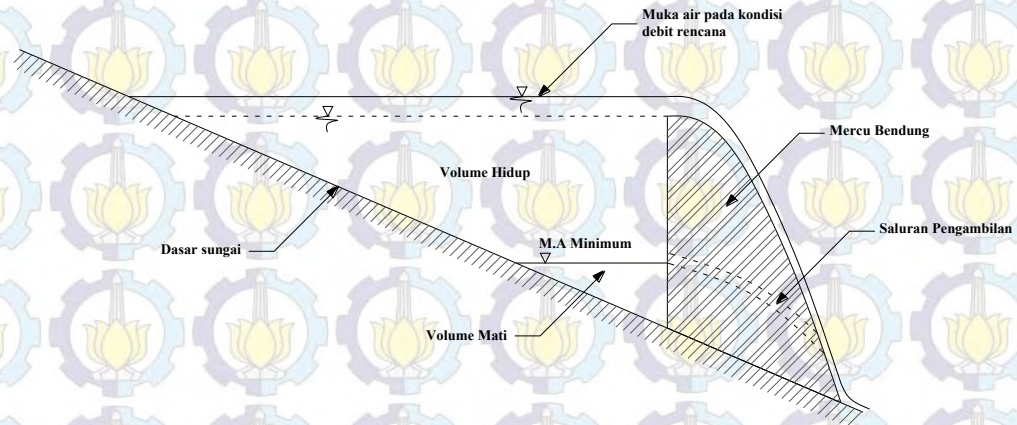
2.7 Bangunan Pengontrol Banjir

2.7.1 Waduk

Perencanaan waduk erat kaitannya dengan fungsi waduk pada saat dioperasikan. Kapasitas dan pembuangan air dari waduk harus direncanakan dengan cermat agar kapasitas tampungan dapat digunakan secara maksimum.

Storage (tampungan) waduk merupakan jumlah air yang akan ditampung/dialihkan dari debit limpasan (*runoff*) yang terjadi. Mengingat fungsi sebagai penampung air, maka waduk harus memiliki elevasi dan luas yang cukup. Untuk daerah yang tidak cukup luas, sehingga kedalaman waduk perlu ditingkatkan, sehingga lebih rendah dari muka air tanah. Oleh sebab itu maka perlu diperhitungkan juga aliran air tanah yang masuk sebagai debit tambahan yang masuk ke waduk.

Adapun zona-zona tampungan pada suatu waduk dapat dijelaskan melalui gambar berikut :



Gambar 2.11 Zona-zona volume waduk

2.7.2 Volume Waduk

Waduk (reservoir/storage) adalah kolam penampungan air yang berfungsi untuk menampung air pada saat musim hujan dan memanfaatkan air tampungan tersebut pada musim kemarau. Waduk berada pada lembah sungai yang bisa digunakan untuk penampungan, dibangun dengan membuat bendungan disungai lengkap dengan bangunan penunjang diantaranya Pelimpah, pintu air, dan bangunan pelimpah darurat.

Volume tampungan waduk direncanakan sesuai dengan tujuan dibangunnya waduk dan kebutuhan air rencana. Volume waduk yang terdapat disuatu bendungan biasanya terdiri atas tiga bagian utama, yakni *active storage*, *dead storage* dan *flood storage*.

1. *Active Storage*, adalah volume air waduk yang direncanakan untuk digunakan bagi pemakai dihilirnya, contoh : air untuk kebutuhan PLTA maupun irigasi.
2. *Dead Storage*, adalah volume waduk yang terletak dibagian bawah dari bangunan pelimpah, volume ini diperuntukkan bagi endapan sedimen yang masuk ke waduk. Volume dari *dead storage* merupakan penentu umur pemanfaatan waduk.

3. Flood Storage, adalah sebagian volume aktif waduk yang digunakan untuk mengontrol/mengendalikan debit banjir yang terjadi. Volume ini terdapat pada bagian atas dari mercu pelimpah. Sebagai sarana pengendali banjir, waduk diupayakan untuk menekan/menurunkan debit puncak dengan cara menyimpan sebagian air dan akan dilepas sedikit demi sedikit, sesuai dengan kapasitas sungai.

2.7.3 Penelusuran Banjir (*Flood Routing*)

Penelusuran banjir dapat juga diartikan sebagai penyelidikan perjalanan banjir (*flood tracking*) yang didefinisikan sebagai upaya prakiraan corak banjir pada bagian hilir berdasarkan corak banjir di daerah hulu (sumbernya). Oleh karena itu dalam kajian hidrologi penelusuran banjir digunakan untuk peramalan banjir dan pengendalian banjir (Sunu Tikno, 2002).

Terdapat beberapa metode penelusuran banjir, salah satunya yaitu penelusuran banjir hidrologis dan penelusuran banjir hidrolis. Pada penelusuran hidrologis dapat berupa penelusuran waduk atau sungai.

Penelusuran banjir dinyatakan dalam bentuk persamaan kontinuitas. Untuk melakukan perhitungan dengan persamaan kontinuitas, maka dimensi waktu (t) harus dibagi menjadi periode-periode Δt yang lebih kecil, yang disebut sebagai periode penelusuran (*routing period*). Periode penelusuran (Δt) harus dibuat lebih kecil dari tempuh dalam bagian memanjang sungai tersebut, sehingga selama periode penelusuran puncak banjirnya tidak dapat menutup bagian memanjang sungai secara menyeluruh (Soemarto, C.D., 1987). Persamaan kontinuitas yang dipakai adalah :

$$I - O = \frac{dS}{dt} \dots\dots\dots (2.25)$$

dimana :

I = Aliran masuk (*inflow*) $\rightarrow m^3/dt$

O = Aliran keluar (*outflow*) $\rightarrow m^3/dt$

dS = Perubahan tampungan (*storage*) $\rightarrow m^3$

dt = Interval waktu penelusuran (detik atau jam atau hari)

Persamaan (2.25) menunjukkan bahwa perubahan tampungan antara interval waktu (dt) adalah sama dengan aliran masuk dikurangi aliran keluar.

Terdapat hubungan antara tampungan, aliran masuk dan aliran keluar. Dalam persamaan (2.25), aliran masuk (I) diketahui, sedangkan terdapat 2 (dua) parameter lain yang belum diketahui yaitu O dan S. Parameter O dan S tidak dapat diselesaikan secara langsung, diperlukan persamaan lain untuk menyelesaikannya yang disebut fungsi tampungan, dimana persamaan ini merupakan hubungan antara I, S, dan O.

Menurut Mc Carthy dalam Wilson (1974) yang kemudian dikenal sebagai metode Muskingum, diajukan suatu persamaan yaitu :

$$S = KO + Kx(1 - O) \dots\dots\dots (2.26)$$

dimana :

S = Volume tampungan (m³)

I = Aliran masuk (inflow) → m³/dt

O = Aliran keluar (outflow) → m³/dt

K = Koefisien tampungan, yaitu perkiraan waktu perjalan air sungai

x = Faktor pembobot, yang bervariasi antara 0 – 0,5

Suatu waduk dilengkapi dengan bangunan pelimpah (*spillway*). Aliran yang melalui pelimpah tergantung pada lebar bangunan pelimpah (B), tinggi pelimpah (H) dan koefisien debit (C_d) yang dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$Q_o = C_d B H^{3/2} \dots\dots\dots (2.27)$$

dimana :

Q_o = Debit outflow (m³/dt)

C_d = Koefisien Debit

B = Lebar Pelimpah (m)

H = Tinggi pelimpah (m)

Persamaan (2.27) dapat diselesaikan secara numerik dengan membuat diskritisasi numerik. Apabila interval waktu penelusuran adalah Δt, maka persamaan (2.27) ditulis menjadi :

$$\frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{O_1 + O_2}{2} = \frac{S_1 - S_2}{\Delta t} \dots\dots\dots (2.28)$$

dimana :

I_1, I_2 = Aliran masuk pada waktu ke-1 dan ke-2

O_1, O_2 = Aliran keluar pada waktu ke-1 dan ke-2

S_1, S_2 = Tampung pada waktu ke-1 dan ke-2

Δt = Interval waktu

2.8 Konsep Pemodelan menggunakan Software

2.8.1 Pemodelan Hidrologi

2.8.1.1 Gambaran Umum HEC-HMS

HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Centre – Hydrologic Modeling System*) merupakan *software* pemodelan hidrologi yang dikembangkan oleh U.S. Army Corp of Engineers. Software ini dikembangkan untuk mempermudah perhitungan volume *runoff*, *direct runoff*, *baseflow* dan *routing*.



US Army Corps
of Engineers
Hydrologic Engineering Center

Hydrologic Modeling System
HEC-HMS

Pendekatan sistem DAS yang digunakan pada HEC-HMS dapat digambarkan bahwa hujan merupakan input yang diproses berdasarkan propertis dari sistem DAS yang menghasilkan suatu output berupa debit (*runoff*). Proses tersebut dapat diilustrasikan seperti **Gambar 2.14**.



Gambar 2.12 Transformasi hujan menjadi aliran (HEC-HMS)

Dalam HEC-HMS terdapat beberapa model yang terpisah dimana masing-masing model yang dipilih mempunyai input yang berbeda-beda.

Beberapa model yang digunakan untuk menghitung volume runoff, direct runoff, baseflow dan channel flow ditunjukkan pada Tabel

Tabel 2.9 Metode Pemodelan pada HEC-HMS

No.	Komputasi	Model
1.	<i>Precipitation</i>	<ul style="list-style-type: none"> - User Hydrograph - User Gage Weighting - Inverse Distance Gage Weight - Gridded Precipitation - Frequency Storm - Standart Project Storm
2.	<i>Volume Runoff</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Initial and Constant Rate - SCS Curve Number - Gridded SCS CN - Green and Ampt - Deficit and Constant Rate - Soil Moisture Accounting (SMA) - Gridded SMA
3.	<i>Direct Runoff (Overland Flow dan Interflow)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - User-Specified Unit Hydrograph - Snyder Unit Hydrograph - SCS Unit Hydrograph - Clark Unit Hydrograph - ModClark Model - Kinematic Wave Model
4.	<i>Base Flow</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Constant Montly - Exponential Reccesion - Linier Reservoir
5.	<i>Channel Flow</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Kinematic Wave - Lag Model - Modified Puls - Muskingum - Muskingum – Cunge Model

Sumber : Technical Refrence Manual HEC-RAS (2000)

Dalam HEC-HMS terdapat beberapa model yang terpisah, dimana masing-masing model yang dipilih memiliki input yang berbeda-beda. Komputasi dan penyelesaian model menggunakan komponen berupa : Variabel tetap, parameter, kondisi batas dan kondisi awal.

Komponen dasar yang digunakan dalam pemodelan ini adalah model basin (DAS), model meteorologi dan kontrol spesifikasi. Pemodelan komprehensif juga memasukkan komponen data berupa time series dan paired grid.

2.8.1.2 Parameter Input pada HEC-HMS

Pada penggunaan HEC-HMS terdapat beberapa parameter input, diantaranya :

Basin Model (Model daerah tangkapan)

Representasi fisik dari *catchment area* (daerah tangkapan) didefinisikan dalam *Basin Model*. Elemen-elemen hidrologi berhubungan dalam jaringan yang mensimulasikan sebuah proses limpasan langsung (*run off*). Elemen-elemen yang digunakan untuk mensimulasikan limpasan adalah subbasin, reservoir, reach dan junction.

Sub Basin Model (Model Sub DAS)

Parameter Sub Basin merupakan model dari sub DAS pada sebuah DAS dan hanya memiliki 1 outflow.

Reservoir (Tampungan)

Parameter Reservoir adalah elemen dengan satu atau lebih inflow dan satu perhitungan outflow. Inflow masuk dari elemen lain dalam suatu DAS. Reservoir dapat berupa waduk, danau, atau empang.

Reach (Sungai)

Parameter Reach adalah sebuah elemen dengan satu atau lebih inflow dan hanya memiliki satu outflow. Inflow datang dari elemen/parameter lain dalam sebuah DAS.

Junction

Parameter Junction merupakan sebuah model pertemuan dari reach atau Sub Basin yang hanya memiliki satu atau lebih inflow dan hanya memiliki 1 outflow.

Diversion

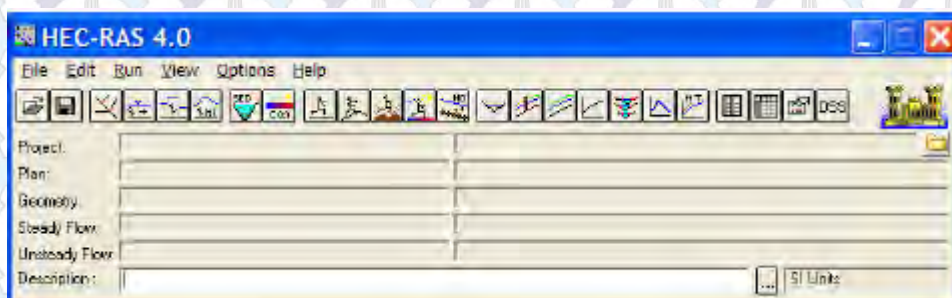
Parameter diversion adalah model dari bentuk percabangan sungai yang memiliki 2 outflow.

2.8.1 Pemodelan Hidrolika

2.8.1.1 Gambaran Umum HEC-RAS

HEC-RAS merupakan program aplikasi untuk memodelkan aliran sungai, River Analysis System (RAS), yang dikembangkan oleh Hydrologic Engineering Centre (HEC) yang merupakan satu divisi didalam Institute for Water Resources (IWR), dibawah US Army Corps of Engineers (USACE). HEC-RAS merupakan pemodelan aliran 1 dimensi baik untuk aliran permanen (steady flow) maupun aliran tidak permanen (unsteady flow). HEC-RAS memiliki empat komponen model 1 dimensi, diantaranya :

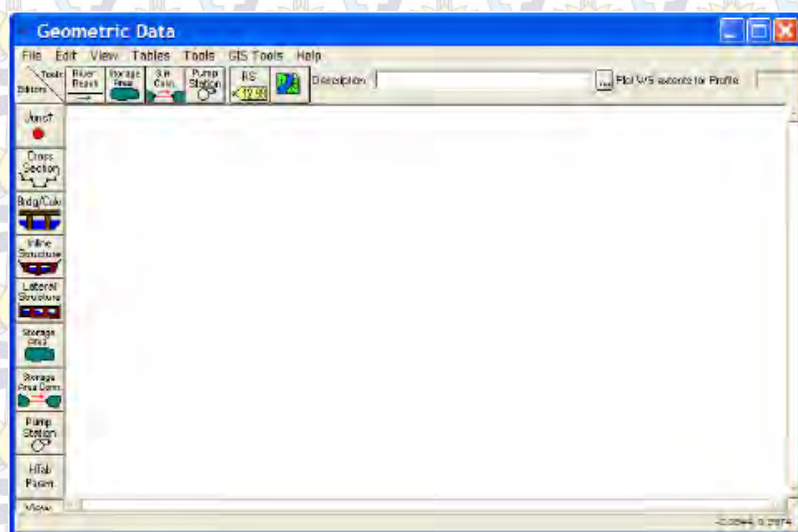
- Hitungan profil muka air aliran permanen (Steady flow Analysis)
- Hitungan profil muka air aliran tak permanen (Unsteady flow Analysis)
- Hitungan Transpor sedimen
- Hitungan Kuasi air



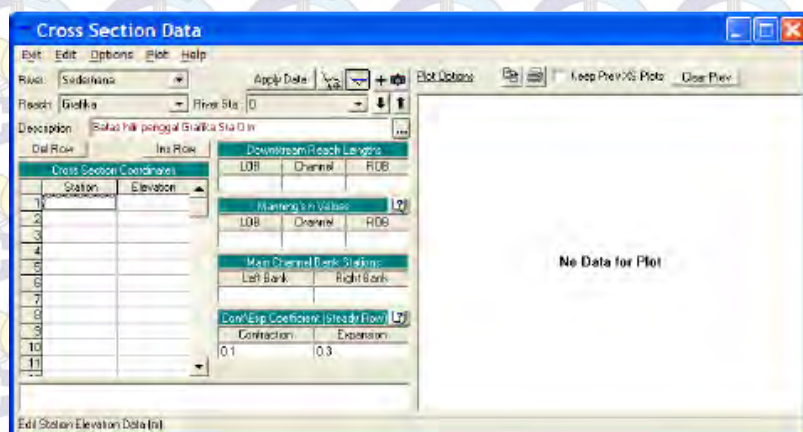
Gambar 2.13 Tampilan awal program HEC-RAS

2.8.1.2 Peniruan Geometri Saluran/Sungai

Parameter geometri saluran/sungai yang dibutuhkan pada input HEC-RAS adalah alur sungai, tampang panjang dan lintang, kekasaran dasar (koefisien Manning), kehilangan energi ditempat perubahan tampang saluran (koefisien ekspansi dan kontraksi). HEC-RAS juga membutuhkan geometri struktur hidrolis yang ada disepanjang sungai, misal jembatan, pintu air, bendung, pelimpah dan sejenisnya.



Gambar 2.14 Jendela Editor Geometrik Data



Gambar 2.15 Jendela Editor Cross Section Data

Pada tampang melintang, apabila dibutuhkan interpolasi pada cross section maka digunakan menu Interpolasi tampang lintang pada Menu *Geometric Editor* → *Tools* → *XS Interpolation*.

2.8.1.2 Unsteady Flow Analysis

Unsteady flow Analysis merupakan fasilitas simulasi pada HEC-RAS yang memiliki kemampuan melakukan simulasi pada alur sungai yang kompleks.

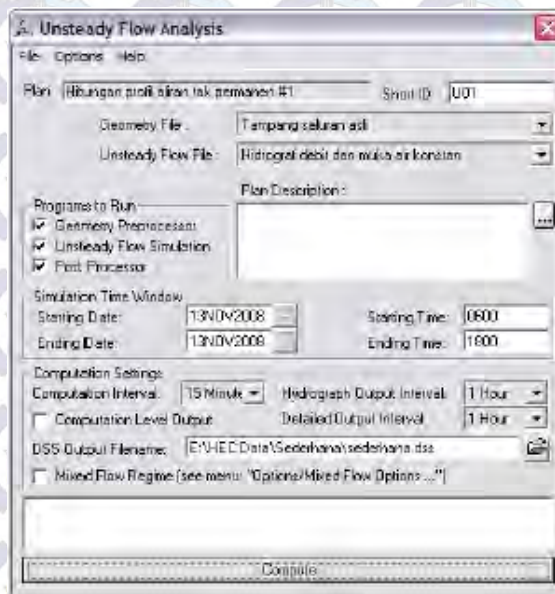
Pada analisis Unsteady Flow, dibutuhkan data berupa geometri sungai dan data aliran berupa Hidrograf debit dan waktu simulasi. Hal ini untuk melihat profil muka air sesuai dengan interval waktu yang diinginkan.



	Date	Simulation Time (hours)	Flow (m³/s)
1		00:00	3
2		01:00	3
3		02:00	3
4		03:00	6
5		04:00	9.57
6		05:00	9.14
7		06:00	4.71

Gambar 2.16 Jendela input data Hidrograf

Setelah proses input parameter selesai, maka data siap untuk dilakukan proses analisa. Untuk melakukan analisa pilih menu *Run* → *Unsteady Flow Analysis*.



Gambar 2.17 Tampilan pada menu Unsteady Flow Analysis

2.9 Studi/penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang mirip dan berkaitan dengan penelitian ini. Beberapa penelitian sebelumnya memiliki lokasi penelitian yang sama namun terdapat perbedaan pembahasan yang dilakukan. Selain itu terdapat beberapa penelitian yang memiliki tujuan yang mirip namun terdapat beberapa perbedaan seperti metode perhitungan yang digunakan, lokasi penelitian dan skenario penanganan. Berikut beberapa penelitian sebelumnya :

Tabel 2.10Perbandingan penelitian sebelumnya dengan penelitian yang dilakukan

No.	Judul & Penulis	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1.	“Kajian Alternatif Penanggulangan Banjir (Studi Kasus Sungai Ladapa di Kabupaten Gorontalo)” <i>Sarminingsih, A. (2007)</i>	Melakukan evaluasi pemilihan alternatif upaya penanggulangan banjir secara struktural	Penelitian menggunakan pendekatan sistem tata air, penggunaan alahan dan sosial ekonomi. Perhitungan debit rencana menggunakan perangkat lunak HEC-HMS dengan metode HSS Snyder. Untuk analisa hidrolika menggunakan perangkat lunak HEC-RAS.	<ul style="list-style-type: none"> - Mengetahui hasil evaluasi terhasap beberapa alternatif dari penanggulangan banjir baik secara struktural dan non Struktural. - Untuk struktural, alternatif menggunakan tanggul dan pintu klep. Penggunaan waduk retensi memiliki efektifitas dalam menurunkan debit puncak banjir. - Sedangkan untuk non-struktural yaitu dengan reboisasi, relokasi penduduk bantaran sungai dan peringatan dini banjir
2.	“ ennilaian Tingkat Kerusakan Daerah Aliran Pada Sub sub DAS Bayur di Sub DAS Karang Mumus” <i>Ismail (2007)</i>	Untuk mengetahui besarnya curah hujan, debit air dan sedimen pada Sub sub DAS Bayur Sub DAS Karang Mumus dan menentukan nilai kerusakan pada sub sub DAS Bayur Sub DAS Karang Mumus	Penelitian menggunakan indikator Koefisien regim sungai, dimana indikator tersebut adalah perbandingan debit aliran maksimum dengan debit aliran minimum harian dalam satu tahun pengamatan. Selain itu dengan menggunakan indikator nilai koefisien pengaliran (C) sebagai penenti tingkat kerusakan DAS.	Mengetahui kondisi wilayah sub sub DAS Bayur dimana kondisi wilayah masuk dalam kategori agak buruk. Dengan total aliran limpasan yang terpantau dalam kurun waktu 2005 sebesar 51.671 m ³ /dt.
3.	“ t udi Alternatif Pengendalian Banjir Sungai Tondano di Kota	Menentukan ruas-ruas kritis di Sungai Tondano guna penentuan prioritas	Penentuan debit banjir berdasarkan kala ulang 5th dengan meghitung debit menggunakan hidrograf satuan sistetis	<ul style="list-style-type: none"> - Diketahui banjir sungan Tondano akibat fullbank capacity sungai yang kecil (87m³/dt). Untuk debit dengan kala ulang 5th, kombinasi rencana tanggul

	Manado” Nanlohy, B. J. B., Jayadi, R. dan Istiarto (2008)	pembangunan dan mendapatkan alternatif pengendalian banjir terbaik berdasarkan kajian beberapa alternatif yang ada.	Nakayasu dan HSS GAMA I pada DAS Tondano dan DAS Tikala. Penggunaan data pasang – surut pada muara sebagai bahan kajian alternatif pengendalian banjir.	dan normalisasi tidak terjadi limpasan. - Adanya pengaruh backwater membuat harus adanya revisi tanggul pada bagian ruas sungai tertentu.
4.	“Keseimbangan Air sub DAS Karang Mumus di Kota Samarinda” Ismail (2009)	Untuk mengetahui kondisi keseimbangan air sub DAS Karang Mumus termasuk kondisi unsur-unsur iklim khususnya hujan dan kondisi hidrologinya	Metode yang digunakan adalah metode yang dikemukakan oleh Hewlett dan Nutter dengan parameter berupa Curah hujan bulanan, evapotranspirasi total, debit limpasan permukaan dan perubahan kandungan air tanah.	Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa debit sungai Karang Mumus tertinggi terjadi pada bulan April. Selain itu sub DAS Karang mumus memiliki surplus air selama 8 bulan dengan nilai kumulatif sebesar 478.8 mm/tahun dan defisit air selama 4 bulan (44.5 mm/th)
5.	“Perencanaan Pengendalian Banjir Kali Kemuning, Samarinda” Cahyono, A. T. (2011)	<ul style="list-style-type: none"> - Mengetahui kapasitas tampung kali kemuning - Mengetahui kemampuan alur kali kemuning terhadap debit banjir rencana - Mengetahui alternatif pengendalian banjir Kali Kemuning - Mengetahui kinerja dari beberapa alternatif yang digunakan. 	<ul style="list-style-type: none"> - Melakukan survey lapangan - Perhitungan debit banjir menggunakan HSS Nakayasu. - Analisa hidrolika menggunakan software HEC-RAS dengan metode Steady Flow - Alternatif I berupa sudetan pada kali kemuning - Alternatif II berupa Normalisasi kali Kemuning - Alternatif III berupa sudetan dan penutupan kali kemuning eksisting. 	<ul style="list-style-type: none"> - Debit puncak dengan kala ulang 25th adalah 317.268 m³/dt. - Diketahui beberapa ruas kali Kemuning tidak mampu mengalirkan debit banjir - Alternatif yang bisa digunakan adalah alternatif II dan III

6.	<p>“emanfaatan itra Pengindraan Jauh Multitemporal Untuk Kajian Tingkat Bahaya Erosi (Kasus di Sub DAS Karang Mumus, Kalimantan Timur)”</p> <p><i>Fatmanegara, M. A. dan Jatmiko, R. H. (2013)</i></p>	<p>Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan citra pengindraan jauh untuk menilai perubahan lahan yang terjadi, selain itu untuk mengetahui tingkat bahaya erosi akibat kegiatan pembukaan lahan, serta mengetahui faktor dominan yang mempengaruhi proses erosi.</p>	<p>Penggunaan citra satelit untuk melihat perubahan tata guna lahan dan penentuan kerusakan lahan.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sub DAS Karang Mumus terbagi menjadi 7 kelas penggunaan lahan dengan jenis semak belukar merupakan penggunaan lahan yang dominan. - Tingkat erosi masuk pada kelas sedang (2007) dengan luas 10056.72 Ha. - Tingkat erosi tahun 2009 meningkat menjadi kategori Berat.
7.	<p>“emodelan Hidrologi untuk Penentuan Tingkat Prioritas Sub DAS dalam Pengendalian Banjir Menggunakan Citra Pengindraan Jauh dan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus di Sub DAS Karang Mumus, Kalimantan Timur)”</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Menganalisis karakteristik fisik Sub DAS Karang Mumus - Memodelkan limpasan permukaan dari limpasan permukaan Sub DAS Karang Mumus - Menggunakan GIS Surface Hydrology Tools - Menentukan tingkat 	<p>Pemodelan hidrologi dilakukan untuk limpasan permukaan dengan basis raster menggunakan metode Cook yang dimodifikasi SCDT (2011).</p> <p>Metode mempertimbangkan karakteristik fisik DAS (kemiringan lereng, infiltrasi tanah, tutupan vegetasi dan kerapatan aliran). Penentuan karakteristik DAS dilakukan dengan informasi dari citra pengindraan jauh, data meteorologi, data</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Citra pengindraan jauh cukup akurat dalam mengekstraksi informasi variabel lahan (86.3% untuk data DEM; 85.8% untuk kemiringan lereng dan 84.6% untuk tutupan lahan) - Kemiringan lereng dan tutupan lahan merupakan karakteristik DAS yang paling mempengaruhi kejadian limpasan permukaan - SSD Karang Mumus Hulu menjadi prioritas utama dalam pengendalian banjir.

	Ramadhani, A. (2013)	prioritas sub sub DAS di Sub DAS Karang Mumus dalam pengendalian banjir Kota Samarinda berdasarkan Informasi Aliran Permukaan	sekunder dan survey lapangan. GIS Hydrology Surface Tools menggunakan data DEM dioperasikan untuk penentuan akumulasi limpasan permukaan. Akumulasi limpasan permukaan dibandingkan dengan kapasitas maksimum sungai untuk penentuan prioritas sub sub DAS dalam pengendalian banjir.	
8.	“ t udi engendalian Banjir Kali Wrati Kabupaten asuruan” K. Rizal A., Harisuseno, D. dan Dermawan, V. (2014)	Menganalisis kala ulang kejadian banjir yang pernah terjadi di Kali Wrati , mengetahui upaya-upaya pengendalian banjir yang bisa dilakukan pada sungai tersebut serta besarnya biaya yang dikeluarkan untuk pembangunan pengendalian banjir Kali Wrati.	<ul style="list-style-type: none"> - Perhitungan debit banjir rencana menggunakan HSS Nakayasu. - Analisa profil muka air menggunakan HEC-RAS metode Steady Flow. 	<ul style="list-style-type: none"> - Debit puncak 17.811 m³/dt untuk kala ulang 25th. - Banjir dapat dikendalikan dengan 2 (dua) solusi yaitu pembuatan koneksi antara kali Wrati dengan Kali Bangiltak. yang kedua dengan menggunakan retarding basin dengan volume retarding basin I 1603m³, retarding basin II 3201m³.
9.	“Analisa Penanggulangan Banjir Sungai Karang Mumus, Samarinda” Sukmara, Riyan Benny	- Mengetahui kemampuan sungai Karang Mumus akibat debit banjir yang mengalir pada kondisi	<ul style="list-style-type: none"> - Perhitungan debit rencana menggunakan HSS SCS Curve Number - Tinjauan profil muka air menggunakan HEC-RAS metode <i>Unsteady Flow Analysis</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Debit puncak pada kala ulang 20th untuk titik kontrol muara sungai sebesar 516.8m³/dt. - Perubahan kapasitas waduk tidak berpengaruh signifikan, terbukti dengan percobaan normalisasi

	(2014)	<p>eksisting.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mengetahui profil muka air Sungai Karang Mumus akibat debit kondisi eksisting yang mengalir. - Mengetahui kemampuan reduksi debit banjir setelah penerapan model skenario penanggulangan banjir. - Mengetahui profil muka air Sungai Karang Mumus setelah penerapan model skenario penanggulangan banjir. - Mengetahui solusi dan menyusun rekomendasi penanggulangan banjir yang dapat diaplikasikan pada Sungai Karang Mumus. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alternatif yang digunakan pada skenario pengendalian banjir menggunakan beberapa metode, yaitu Normalisasi waduk, rencana bangunan pengendali banjir (bendali) dan normalisasi penampang sungai. 	<p>waduk, nilai reduksi debit banjir (kala ulang 20th) pada outlet waduk hanya sebesar 13.69% dan pada titik kontrol hilir hanya sebesar 0.31%.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aliran lateral berpengaruh besar pada besarnya debit setelah outlet waduk Benanga - Alternatif Kombinasi Normalisasi Waduk dan Penggunaan bangunan pengendali banjir menghasilkan nilai reduksi sebesar 59.2% pada outlet waduk dan 26% pada titik kontrol bagian hilir. - Dari hasil analisa, diketahui tinggi pasang-surut Sungai Mahakam sangat berpengaruh dalam tingginya elevasi muka air bagian hilir, sehingga perlu ada koreksi penampang sungai yaitu dengan penambahan tanggul sungai hingga elevasi +4m sampai dengan jarak yang dipengaruhi oleh adanya <i>Back Water</i>.
--	--------	--	--	---

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Banjir

Banjir adalah sebuah peristiwa yang terjadi ketika aliran air yang berlebihan merendam daratan (wikipedia.org). Banjir merupakan permasalahan umum yang sering terjadi disebagian wilayah Indonesia, terutama di wilayah padat penduduk, misalnya dikawasan perkotaan. Kerugian yang ditimbulkan bisa sangat besar, baik dari segi materi maupun kerugian jiwa (Kodoatie, 2013).

Banjir disebabkan oleh banyak faktor, diantaranya :

Faktor Alami

- Curah Hujan

Pada musim penghujan curah hujan yang tinggi akan mengakibatkan banjir di sungai dan bilamana melebihi tebing sungai, maka akan timbul banjir atau genangan.

- Pengaruh Fisiografi

Fisiografi atau geografi fisik seperti bentuk dan kemiringan daerah aliran sungai (DAS), kemiringan sungai, geometri hidrolis (bentuk penampang seperti lebar, kedalaman, potongan memanjang dan material dasar sungai).

- Erosi dan Sedimentasi

Erosi pada DAS berpengaruh terhadap kapasitas penampungan sungai, karena tanah yang tererosi pada DAS tersebut akan terbawa oleh air dan mengendap pada bagian sungai yang memiliki kecepatan aliran yang rendah. Hal ini menyebabkan terjadinya sedimentasi pada sungai.

- Kapasitas Sungai

Pengurangan kapasitas aliran banjir pada sungai disebabkan oleh pengendapan yang berasal dari erosi dasar sungai dan tebing sungai yang berlebihan.

- Pengaruh Pasang Surut

Air laut memperlambat aliran sungai ke laut. Pada waktu banjir bersamaan dengan air pasang tertinggi, maka tinggi genangan/bannir menjadi lebih tinggi akibat adanya aliran balik (*back water*).

Faktor Kegiatan Manusia

- Perubahan kondisi daerah aliran sungai (DAS)

Perubahan kondisi DAS seperti penggundulan hutan, usaha pertanian maupun perluasan kota dapat memperparah masalah banjir, dimana berkurangnya daerah resapan dan meningkatnya debit limpasan serta erosi yang terjadi membuat sedimen sungai ikut meningkat.

- Kawasan Kumuh

Perumahan kumuh yang berada dibantaran sungai merupakan bagian dari penghambat aliran sungai.

- Sampah

Pembungan sampah pada alur sungai dapat meninggikan muka air karena menghalangi aliran.

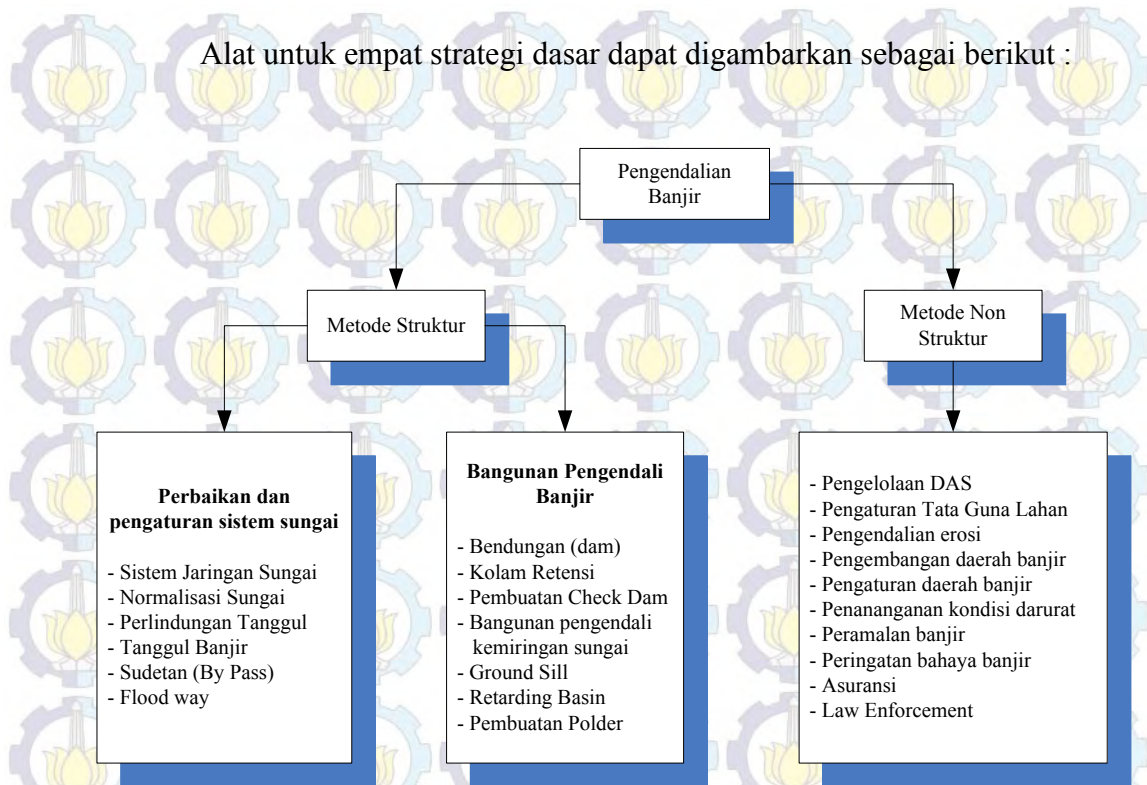
2.1.1 Pengendalian Banjir

Pengendalian banjir merupakan kegiatan perencanaan, pelaksanaan pekerjaan pengendalian banjir, eksploitasi dan pemeliharaan yang pada dasarnya dilakukan untuk mencegah terjadinya banjir.

Menurut Grigg (1996), ada 4 strategi dasar dalam pengelolaan daerah banjir, diantaranya :

- Modifikasi kerentanan dan kerugian banjir (penentuan zona atau pengaturan tata guna lahan)
- Modifikasi banjir yang terjadi (pengurangan) dengan bantuan pengontrol (waduk) atau normalisasi sungai.
- Modifikasi dampak banjir dengan penggunaan teknik mitigasi seperti asuransi dan penghindaran banjir (flood Proofing)
- Pengaturan peningkatan kapasitas alam untuk dijaga kelestariannya seperti penghijauan.

Alat untuk empat strategi dasar dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.1 Pengendalian banjir dengan metode non struktur dan struktur

2.2 Sungai

Sungai adalah aliran air yang besar dan memanjang, yang mengalir secara terus menerus dari hulu (sumber) menuju hilir (muara). Sungai merupakan salah satu bagian dari siklus hidrologi. Air dalam sungai umumnya terkumpul dari presipitasi, seperti hujan, embun, mata air, limpasan bawah tanah dan di beberapa negara tertentu air sungai juga berasal dari lelehan es/salju. Selain air, sungai juga mengalirkan sedimen dan polutan (*Wikipedia.org*, 2014).

Menurut Peraturan Pemerintah Indonesia (PP. No. 35 Tahun 1991), sungai didefinisikan sebagai berikut :

- Sungai adalah tempat-tempat dan wadah-wadah serta jaringan pengaliran air mulai dari mata air sampai muara dengan dibatasi kanan-kirinya serta pengalirannya oleh garis sempadan.
- Ditinjau dari penampang melintangnya, bagian utama dari sungai adalah paling sungai (*main river*). Perbandingan antara lebar dan kedalaman air pada palung sungai bisa besar sekali.

2.3 Analisa Hidrologi

Analisa hidrologi adalah proses analisa terhadap data hidrologi seperti data hujan, debit, suhu, temperatur, penyinaran matahari dsb, yang nantinya akan diperoleh besaran dari debit banjir rencana dan hidrograf banjir.

2.3.1 Curah Hujan

Curah hujan adalah jumlah air yang jatuh dipermukaan tanah datar selama periode tertentu yang diukur dengan satuan tinggi (mm). Data curah hujan yang terjadi disuatu wilayah adalah hujan yang terjadi disuatu titik saj (point rainfall). Sehingga, apabila akan melakukan perhitungan hujan rencana maka sebaiknya diperlukan lebih dari satu stasiun hujan.

Perhitungan curah hujan rencana sangat penting dalam analisa hidrologi. Terdapat banyak metode yang dapat digunakan pada perhitungan curah hujan rencana pada suatu DAS, diantaranya metode Aljabar, metode Poligon Thiessen dan Isoyet. Pemilihan metode perhitungan yang cocok pada suatu DAS tergantung pada beberapa faktor, Suripin (2004) membagi beberapa kriteria dalam penggunaan metode perhitungan curah hujan, yaitu :

Tabel 2.1 Kriteria Penentuan Metode Perhitungan Curah Hujan

No.	Jenis Kriteria	Metode yang dapat digunakan
1	<i>Jaring-jaring penakar hujan</i>	
a.	Jumlah pos penakar hujan cukup banyak	Aljabar, Thiessen atau Isohyet
b.	Jumlah Pos penakar hujan terbatas	Aljabar atau Thiessen
c.	Jumlah penakar hujan tunggal	Metode hujan titik
2	<i>Luas DAS</i>	
a.	$> 5000 \text{ km}^2$	Isohyet
b.	$500 - 5000 \text{ km}^2$	Thiessen

No.	Jenis Kriteria	Metode yang dapat digunakan
c.	< 500 km ²	Aljabar
3	<i>Tofografi DAS</i>	
a.	Pegunungan	Aljabar
b.	Daratan	Thiessen
c.	Berbukit tidak beraturan	Isohyet

Berikut penjelasan dari beberapa metode perhitungan hujan :

Metode Aljabar

Metode ini adalah metode paling sederhana, yaitu dengan melakukan perataan pada presipitasi/hujan yang diperoleh dari seluruh alat/stasiun penakar hujan yang digunakan. Cara ini dianggap cukup memadai sepanjang digunakan pada daerah yang cukup landai dengan variasi hujan yang cukup besar serta penyebaran alat/stasiun hujan seragam.

Perumusan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$R = \frac{1}{n} (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n) \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana :

R = Curah hujan rata-rata

n = Jumlah Sta. hujan

R₁+R₂+R₃+R_n = Curah hujan rerata tahunan disetiap titik pengamatan (Sta. Hujan)

Metode Poligon Thiessen

Metode ini memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun hujan yang mewakili luasan disekitarnya. Pada suatu luasan didalam DAS dianggap bahwa hujan adalah sama dengan yang terjadi pada stasiun terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu stasiun hujan mewakili wilayah tersebut.

Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan disuatu wilayah tidak merata, pada metode ini stasiun hujan yang digunakan minimal 3 (tiga) buah stasiun hujan. Perhitungan curah hujan rata-rata dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh dari setiap stasiun hujan.

Menurut Triatmodjo (2008), metode poligon Thiessen banyak digunakan untuk menghitung hujan rata-rata kawasan. Poligon thiessen adalah tetap untuk suatu jaringan stasiun hujan tertentu. Apabila terdapat perubahan jaringan stasiun hujan seperti pemindahan atau penambahan, maka harus dibuat kembali poligon yang baru.

Metode perhitungan Thiessen poligon dilakukan dengan cara membuat poligon yang memotong tegak lurus pada tengah-tengah garis penghubung antara 2(dua) stasiun. Dengan demikian stasiun penakar Rn akan terletak pada suatu poligon tertentu An.

Dengan menghitung perbandingan luas untuk setiap stasiun yang besarnya = A_n/A , dimana A adalah luas daerah penampungan atau jumlah luas seluruh areal yang ditinjau. Curah hujan rata-rata diperoleh dengan menjumlahkan masing-masing stasiun hujan yang mempunyai daerah pengaruh. Perhitungan mengikuti cara dibawah ini :

$$d = \frac{A_1 \cdot d_1 + A_2 \cdot d_2 + A_3 \cdot d_3 + \dots + A_n \cdot d_n}{A} = \sum \frac{A_i \cdot d_i}{A} \quad (2.2)$$

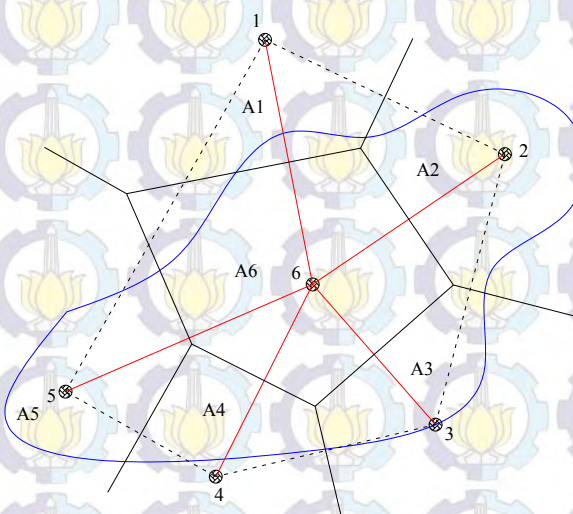
dimana :

A = Luas Areal (km^2)

d = Tinggi curah hujan rata-rata areal

$d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ = Tinggi curah hujan di stasiun yang ditinjau

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ = Luas daerah pengaruh stasiun hujan



Gambar 2.2 DAS dengan perhitungan curah hujan poligon Thiessen

Metode Isohyet

Isohyet adalah garis yang menghubungkan titik-titik dengan kedalaman hujan yang sama. Pada metode Isohyet, dianggap bahwa hujan pada suatu daerah diantara dua garis Isohyet adalah merata dan sama dengan nilai rata-rata dari kedua garis Isohyet tersebut.

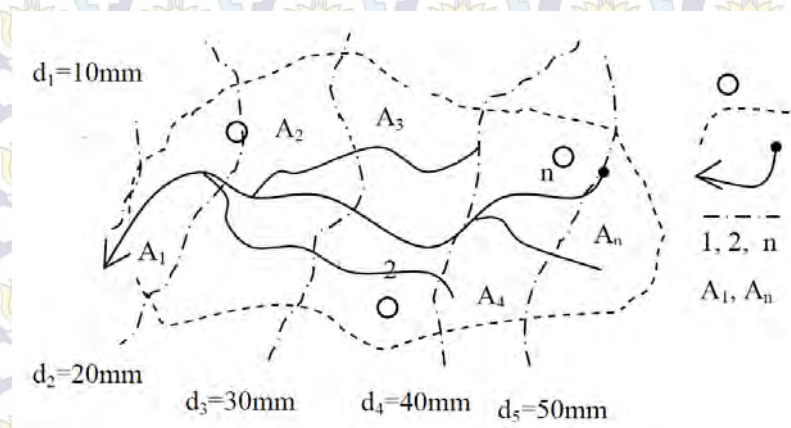
Metode Isohyet merupakan cara paling teliti untuk menghitung kedalaman hujan rata-rata disuatu daerah. Pada metode ini stasiun hujan harus cukup banyak dan tersebar merata, metode Isohyet membuthkan pekerjaan dan perhatian lebih banyak dibanding dua metode lainnya, (Triatmodjo, 2008).

Berikut merupakan persamaan dalam perhitungan metode Isohyet :

$$d = \frac{\left(\frac{d_0 + d_1}{2} \cdot A_1\right) + \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \cdot A_2\right) + \dots + \left(\frac{d_{n-1} + d_n}{2} \cdot A_n\right)}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.3)$$

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_{i-1} + d_i}{2} \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2.4)$$

(Sumber : Soemarto, CD.1993)



Gambar 2.3 Metode Isohyet

dimana :

d = Curah hujan rata-rata (mm)

$A_1 \dots A_n$ = Luas daerah untuk ketinggian curah hujan Isohyet yang berdekatan (km^2)

$d_1 \dots d_n$ = Curah hujan digaris Isohyet (mm)

A = Luas total ($A_1 + A_2 + \dots + A_n$)

2.3.2 Analisa Distribusi Frekwensi

Analisa frekwensi dilakukan untuk menentukan besaran hujan dengan periode ulang tertentu. Metode analisa distribusi yang biasa digunakan pada perhitungan adalah :

- Metode Normal
- Metode Log Normal 2 Parameter
- Metode Log Pearson III
- Metode Gumbel Tipe I

Dari beberapa metode diatas berikut merupakan penjelasan dari masing-masing metode :

a. Metode Distribusi Normal

Distribusi Normal merupakan fungsi komulatif normal atau yang dikenal dengan Distribusi Gauss. Distribusi normal memiliki kerapatan probabilitas yang dituangkan dalam persamaan berikut :

$$P(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \times e^{-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{X-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (2.5)$$

dimana :

$P(X)$ = Peluang terjadinya X

π = 3.14159

e = 2.71828 (bilangan natural)

X = Variabel acak kontinu

μ = Rata-rata nilai X

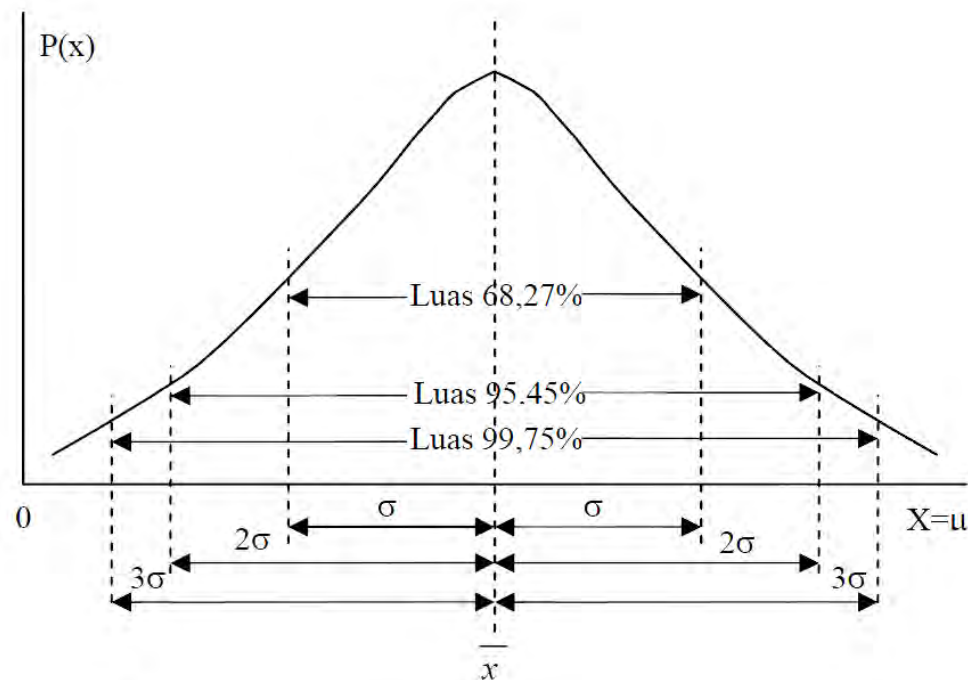
σ = Deviasi standar dari nilai X

(Sumber : Soewarno, 1995)

Apabila sebuah populasi dari data hidrologi mempunyai distribusi normal maka :

- Kira-kira 68,27% terletak didaerah satu deviasi standar sekitar nilai rata-ratanya, yaitu antara $(\mu - \sigma)$ dan $(\mu + \sigma)$.

- b. Kira-kira 95,45% terletak didaerah satu deviasi standar sekitar nilai rata-ratanya, yaitu antara $(\mu - 2\sigma)$ dan $(\mu + 2\sigma)$.
- c. Kira-kira 99,73% terletak didaerah satu deviasi standar sekitar nilai rata-ratanya, yaitu antara $(\mu - 3\sigma)$ dan $(\mu + 3\sigma)$.
- d. Sedangkan nilai 50%-nya terletak didaerah antara $(\mu - 0,6745\sigma)$ dan $(\mu + 0,6745\sigma)$.



Gambar 2.4 Kurva Distribusi Frekwensi Normal

Dalam pemakaian praktis, digunakan rumus umu sebagai berikut :

$$X_t = \bar{X} + k \times S \quad (2.6)$$

dimana :

X_t = Perkiraan nilai X yang diharapkan terjadi dengan periode ulang t tahun.

\bar{X} = Nilai rata-rata hitung variat X

S = Deviasi standar nilai variat X

k = Faktor frekwensi, merupakan fungsi dari periode ulang dan tipe model matematik distribusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang (Nilai reduksi Gauss, lihat **Tabel 2.2**).

Tabel 2.2 Nilai Reduksi Gauss

No.	Periode Ulang T (Tahun)	Peluang	k
1.	1,001	0,999	-3,05
2.	1,005	0,995	-2,58
3.	1,010	0,990	-2,33
4.	1,050	0,950	-1,64
5.	1,110	0,900	-1,28
6.	1,250	0,800	-0,84
7.	1,330	0,750	-0,67
8.	1,430	0,700	-0,52
9.	1,670	0,600	-0,25
10.	2,000	0,500	0
11.	2,500	0,400	0,25
12.	3,330	0,300	0,52
13.	4,000	0,250	0,67
14.	5,000	0,200	0,84
15.	10,000	0,100	1,28
16.	20,000	0,050	1,64
17.	50,000	0,020	2,05
18.	100,000	0,010	2,33
19.	200,000	0,005	2,58
20.	500,000	0,002	2,88
21.	1000,000	0,001	3,09

Sumber : (Bonnier, 1980)

b. Metode Log Normal

Distribusi Log Normal 2 Parameter mempunyai persamaan transformasi, sebagai berikut :

$$P(X) = \frac{1}{(X)(S)(\sqrt{2\pi})} \times \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{\log(X) - \overline{\log(X)}}{S} \right)^2 \right\} \quad (2.7)$$

dimana :

$P(X)$ = Peluang terjadinya distribusi log normal sebesar X

X = Nilai variat pengamatan

\bar{X} = Nilai rata-rata dari logaritmik variat X , umumnya dihitung nilai rata-rata geometriknya.

S = Deviasi standar dari logaritmik nilai variat X

(Sumber : Soewarno, 1995)

Aplikasi distribusi log normal 2 (dua) parameter untuk menghitung nilai variat X yang mempunyai periode ulang t tahun memiliki persamaan sebagai berikut :

$$\log(X_t) = \overline{\log(X)} + k \times S \log(X) \quad (2.8)$$

dimana :

$\log(X_t)$ = Nilai variat X yang diharapkan terjadi pada peluang atau periode ulang t tahun

$\overline{\log X}$ = Rata-rata nilai $\log(X)$

$S \log(X)$ = Deviasi standar logaritmik nilai $\log(X)$

k = Karakteristik dari distribusi log normal 2 (dua) parameter.

(Sumber : Soewarno, 1995)

Nilai k dapat diperoleh dari tabel yang merupakan fungsi dari periode ulang dan nilai koefisien variasinya (lihat **Tabel 2.3**).

2.3.3 Uji Kesesuaian Distribusi Frekwensi

Untuk menentukan kecocokan (*the goodness of fit*) distribusi frekwensi (empiris) dari sampel data terhadap fungsi distribusi peluang (frekwensi teoritis) yang diperkirakan yang dapat mewakili distribusi empiris tersebut, diperlukan pengujian secara statistik. Pemeriksaan uji kesesuaian bertujuan untuk mengetahui kebenaran dari suatu hipotesa, sehingga diketahui :

1. Kebenaran antara hasil pengamatan dengan model distribusi yang diharapkan atau didapat secara teoritis.

2. Kebenaran hipotesa (hasil model distribusi diterima atau ditolak)

Terdapat 2 (dua) metode pengujian yang lazim digunakan, yaitu Uji Chi Kuadrat, dan uji Smirnov-Kolmogorof. Berikut penjelasan dari kedua metode diatas :

a. Metode Uji Chi Kuadrat

Uji Chi Kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Pengambilan keputusan pada uji ini menggunakan parameter X^2 . Parameter X^2 dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$Xh^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

X_h^2 = Parameter Chi Kuadrat terhitung

G = Jumlah sub-kelompok

O_i = Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke-i

E_i = Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke-i

(Soewarno, 1995)

Prosedur uji chi :

1. Urutkan data pengamatan (dari besar kekecil atau sebaliknya)
2. Kelompokkan data menjadi G sub-grup, tiap-tiap sub grup minimal 4 data pengamatan.
3. Jumlahkan data pengamatan sebesar O_i tiap-tiap sub-grup
4. Jumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar E_i
5. Tiap-tiap sub-grup hitung nilai

Interpretasi hasilnya adalah :

1. Apabila peluang lebih besar dari 5%, maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
2. Apabila peluang lebih kecil dari 1%, maka persamaan distribusi yang digunakan tidak dapat diterima.
3. Apabila peluang berada diantara 1% sampai 5%, maka persamaan tidak dapat diterima/tidak memenuhi.

b. Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov sering juga disebut dengan uji kecocokan non parametrik, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Uji ini diperoleh dengan memplot data dan probabilitas dari data yang bersangkutan serta hasil perhitungan empiris dalam bentuk grafis. Dari kedua hasil *plotting* dapat diketahui penyimpangan terbesar. Penyimpangan tersebut kemudian dibandingkan dengan penyimpangan kritis yang diijinkan.

2.4 Koefisien Pengaliran (C)

Koefisien pengaliran (C) adalah perbandingan antara air yang mengalir dipermukaan tanah (*surface runoff*) dengan air hujan yang terjadi. Besarnya debit banjir rencana dipengaruhi oleh besarnya nilai koefisien pengaliran atau koefisien limpasan yang tergantung pada penggunaan lahan (*land use*), jenis tanah dan topografi daerah pengaliran.

Tabel 2.3 Nilai Koefisien pengaliran (C)

No.	Kondisi daerah pengaliran dan sungai	Harga C
1.	Daerah pegunungan yang curam	0,75 – 0,90
2.	Daerah pegunungan tersier	0,70 – 0,80
3.	Tanah bergelombang dan hutan	0,50 – 0,75
4.	Tanah dataran yang ditanami	0,45 – 0,60
5.	Persawahan yang diairi	0,70 – 0,80
6.	Sungai didaerah pegunungan	0,75 – 0,80

No.	Kondisi daerah pengaliran dan sungai	Harga C
7.	Sungai kecil didataran	0,45 – 0,75
8.	Sungai besar yang lebih besar dari setengah daerah pengalirannya terdiri dari daratan	0,50 – 0,75

Sumber : (Sosrodarsono, S, 1987)

2.5 Analisa Debit Banjir Rencana

Perhitungan kemampuan Sungai Karang Mumus untuk menerima debit banjir yang terjadi, beberapa metode yang digunakan untuk menghitung debit banjir, salah satunya adalah metode hidrograf satuan sintetis HEC-HMS (*SCS Curve Number*). Berikut penjelasan dari metode diatas :

Metode HEC-HMS (*SCS Curve Number*)

Metode *SCS (Soil Conservation Service) Curve Number* adalah metode perhitungan aliran limpasan yang dikembangkan oleh United State of Agriculture (USDA) dan metode ini mengestimasi limpasan hujan dari curah hujan (Hjelmfelt,1991).

Hidrograf tak berdimensi *SCS* adalah hidrograf satuan sistetis, dimana debit dinyatakan sebagai nisbah debit q terhadap debit puncak q_p dan waktu dalam t .

Metode *SCS* berusaha mengaitkan karakteristik DAS seperti tanah, vegetasi dan tata guna lahan dengan bilangan kurva air limpasan (*runoff curve number*) yang menunjukkan potensi air limpasan untuk curah hujan tertentu (Asdak,2004). Nilai *CN* merupakan fungsi dari penggunaan lahan dan tanah dari suatu DAS. Estimasi nilai *CN* ditentukan berdasarkan batas penggunaan lahan dan kategori tanah yang spesifik dalam batas DAS.

Estimasi Nilai *Curve Number*

Nilai bilangan kurva (*Curve Number*) pada metode *SCS-CN* ditentukan berdasarkan kombinasi dari penggunaan lahan, tanah dan kondisi kelembaban tanah sebelumnya (*AMC*) (Helley et al, 2005). Pendugaan nilai *CN* dapat diawali dengan menentukan jenis kelompok tanah.

SCS mengembangkan sistem klasifikasi tanah berdasarkan sifat-sifat tanah, peta tanah detail atau laju infiltrasi tanah (Arsyad, 1989).

Klasifikasi kelompok tanah pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4 Klasifikasi Jenis Tanah

No.	Kelas Tanah	Karakteristik Tanah	Laju Infiltrasi (cm/jam)
1	A	Pasir dalam, loess dalam, debu yang beragregat	0.78 – 1.14
2	B	Loess dangkal, lempung berpasir	0.38 – 0.78
3	C	Lempung berlian, lempung berpasir dangkal, tanah kadar bahan organik rendah dan tanah berkadar liat tinggi	0.13 – 0.38
4	D	Tanah-tanah yang mengembang secara nyata, jika basah liat berat, dan tanah-tanah saline tertentu	< 0.13

Sumber : SCS, 1972

Tabel 2.5 Klasifikasi Sifat Hidrologi Berdasarkan Tekstur Tanah

No.	Kelas Tekstur	Kapasitas Efektif Air (in/in)	Nilai Infiltrasi Minimum (in/hari)	SCS Kelompok Hidrologi Tanah
1	Pasir	0.35	0.27	A
2	Pasir Bergeluh	0.31	2.41	A
3	Geluh Berpasir	0.25	1.02	B
4	Geluh	0.19	0.52	B
5	Geluh Berdebu	0.17	0.27	C
	Geluh Lempung Berpasir	0.14	0.17	C
6	Geluh Berlempung	0.14	0.09	D
7	Geluh Lempung Berdebu	0.11	0.06	D
8	Lempung Berpasir	0.09	0.05	D

No.	Kelas Tekstur	Kapasitas Efektif Air (in/in)	Nilai Infiltrasi Minimum (in/hari)	SCS Kelompok Hidrologi Tanah
9	Lempung Berdebu	0.09	0.04	D
10	Lempung	0.08	0.03	D

Sumber : Arsyad, 1989

Catatan :

Kementrian Pekerjaan Umum Republik Indonesia mendefinisikan Tanah Geluh sebagai jenis tanah yang baik dalam keadaan kering tidak seperti berlemak, mempunyai daya susut muai yang tidak kecil dalam keadaan basah dan kering.

Geluh bersifat remah, lembab dan mudah mengikat air dan nutrisi sehingga ideal untuk digunakan dalam pertanian.

Berdasarkan kelompok tanah maka dapat ditentukan nilai Curve Number (CN) pada suatu DAS dengan menambahkan informasi penggunaan lahan yang ada. Klasifikasi kompleks penggunaan lahan SCS terdiri atas 3 (tiga) faktor, yaitu (Arsyad, 1989) :

- Penggunaan Lahan
- Perlakuan atau tindakan yang diberikan pada penggunaan lahan
- Kondisi hidrologi dari penggunaan lahan

Penentuan nilai CN dapat dilihat pada Tabel. dan untuk lebih lengkapnya terdapat pada *HEC-HMS Technical Manual*, 144.

Nilai CN juga dipengaruhi oleh kondisi AMC (Antecedent Moisture Categories) atau nilai kelembaban sebelumnya. Nilai AMC dipengaruhi nilai volume dan laju aliran permukaan. Terdapat 3 (tiga) klasifikasi nilai AMC, yang diberi tanda angka romawi I, II, dan III (Craciun et al, 2007). Nilai CN pada Tabel menunjukkan nilai CN pada kondisi AMC II. Klasifikasi kelompok AMC didasarkan pada (Arsyad, 1989) :

- a. Kondisi I : Tanah dalam keadaan kering tetapi tidak sampai titik layu; pernah ditanami dengan hasil yang memuaskan
- b. Kondisi II : Keadaan rata-rata

c. Kondisi III : Hujan lebat atau hujan ringan dan temperatur rendah telah terjadi dalam lima hari terakhir; tanah jenuh

Nilai AMC juga dapat didekati dengan nilai curah hujan pada 5 hari sebelumnya (**Tabel 2.6**).

Tabel 2.6 Klasifikasi Nilai CN Pada Kondisi AMC II

No.	Penggunaan Lahan		Kelompok Hidrologi Tanah			
			A	B	C	D
1.	Pemukiman					
	Luas Kapling (m ²)	Persentase Rata-rata Kedap Air				
	a. ≤500	65	77	85	90	92
	b. 1000	38	61	75	83	87
	c. 1300	30	57	72	81	86
	d. 2000	25	54	70	80	85
	e. 4000	20	51	68	79	84
2.	Tempat parkir diaspal, atap dan jalan raya		98	98	98	98
3.	Jalan Umum					
	a. Beraspal		98	98	98	98
	b. Kerikil		76	85	89	91
	c. Tanah		72	82	87	89
4.	Kebun Campuran		45	66	77	83
5.	Daerah Industri (72% kedap air)		81	88	91	93
6.	Tempat Terbuka, padang rumput yang dipelihara					
	a. Kondisi baik, 75% tertutup rumput		39	61	74	80
	b. Kondisi sedang 50-75% tertutup rumput		49	69	79	84
7.	Menurut Lereng		77	86	91	94
8.	Tanaman semusim dalam baris					
	a. Menurut lereng	Buruk	72	81	88	91
	b. Menurut lereng	Baik	67	78	85	89
	c. Menurut Kontur	Buruk	70	79	84	88
	d. Menurut Kontur	Baik	65	75	82	86
	e. kontur dan teras	Buruk	66	74	80	82
	f. Kontur dan teras	Baik	62	71	78	81

No.	Penggunaan Lahan		Kelompok Hidrologi Tanah			
			A	B	C	D
9.	Padi-padian					
	a. Menurut lereng	Buruk	65	76	84	88
	b. Menurut lereng	Baik	63	75	83	87
	c. Menurut Kontur	Buruk	63	74	82	85
	d. Menurut Kontur	Baik	61	73	81	84
	e. kontur dan teras	Buruk	61	72	79	82
	f. Kontur dan teras	Baik	59	70	78	81
10.	Leguminase ditanam rapat atau pergiliran tanaman padang rumput					
	a. Menurut lereng	Buruk	66	77	85	89
	b. Menurut lereng	Baik	58	72	81	85
	c. Menurut Kontur	Buruk	64	75	83	85
	d. Menurut Kontur	Baik	55	69	78	83
	e. kontur dan teras	Buruk	63	73	80	83
	f. Kontur dan teras	Baik	51	67	76	80
11.	Padang Rumput penggembalaan					
	a. Buruk		68	79	86	89
	b. Sedang		49	69	79	84
	c. Baik		39	61	74	80
	d. Menurut Kontur	Buruk	47	67	81	88
	e. Menurut Kontur	Sedang	25	59	75	83
	f. Menurut Kontur	Baik	6	35	70	79
	Padang rumput potong baik		30	58	71	78
12.	Hutan					
	a. Buruk		45	66	77	45
	b. Sedang		36	60	73	36
	c. Baik		25	55	70	25
13.	Perumahan Petani		59	74	82	86

Sumber : Arsyad, 1989

Tabel 2.7 Kondisi Kelembaban Tanah 5 Hari Sebelumnya

No.	Kelompok AMC Tanah	Jumlah Curah Hujan yang turun 5 hari sebelumnya (mm)
1.	AMC I (Kering)	< 35
2.	AMC II (Sedang)	35 – 53
3.	AMC III (Basah)	> 53

Sumber : Arsyad, 1988

Pada metode SCS Curve Number terdapat beberapa parameter, diantaranya :

SCS Curve Number Loss Model (Permodelan Kehilangan)

SCS mengestimasi kelebihan hujan sebagai fungsi gabungan dari hujan, tutupan lahan, penggunaan lahan, kelembaban sebelumnya, menggunakan persamaan :

$$e = \frac{(P - a)^2}{P + a}$$

$$I_a = 0.2 S$$

$$\frac{1000 - I_a}{10} \text{ da lam kaki (feet)}$$

$$S = \frac{25400 - 254 CN}{CN} \rightarrow \text{dalam satuan SI}$$

$$CN_{\text{Composite}} = \frac{\sum A_i CN_i}{\sum A_i}$$

Sumber : HEC-HMS Technical Reference Manual, Hal 37

dimana :

P_e = Kelebihan hujan pada waktu t

P = Jumlah tinggi curah hujan pada waktu t

I_a = Initial Abstraction (Kehilangan Awal)

S = Potensi retensi maksimum

CN = Curve Number

SCS Unit Hydrograph Model (HSS SCS)

Penelitian oleh SCS mereferensikan unit hidrograf dan waktu puncak hidrograf dengan persamaan (*HEC-HMS Technical Reference Manual*, Hal : 55):

$$U_p = C \frac{A}{T_p}$$

$$T_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{lag}$$

$$t_{lag} = 0.6t_c$$

$$t_c = t_{sheet} + t_{shallow} + t_{channel}$$

$$t_{sheet} = \frac{0.007 (NL)^{0.8}}{(P_2)^{0.5} S^{0.4}}$$

untuk perhitungan $t_{channel}$ menggunakan persamaan yang digunakan pada daerah Bayern, Jerman (*Aplikasi Hidrologi, Hadisusanto, Nugroho (2010) Hal : 157*)

$$t_{channel} = \frac{L}{W}$$

$$W = 72 \left(\frac{\Delta H}{L} \right)^{0.60} \rightarrow \text{dalam satuan } \frac{\text{km}}{\text{jam}}$$

$$W = 72 \left(\frac{\Delta H}{L} \right)^{0.60} \rightarrow \text{dalam satuan } \frac{\text{m}}{\text{dt}}$$

dimana :

U_p = Puncak Unit Hidrograf

C = Angka Konversi (2.08 dalam SI dan 484 dalam feet)

A = Luas Catchment Area

T_p = Waktu Puncak

Δt = Durasi kelebihan hujan

t_{lag} = Waktu Jeda

t_c = Waktu konsentrasi

t_{sheet} = Waktu pengaliran pada lahan

$t_{shallow}$ = Waktu pengaliran pada segmen aliran dangkal

t_{channel}	= Waktu pengaliran pada segmen sungai/saluran
S	= Garis Kemiringan Hidrolis (Kemiringan sungai, <i>slope</i>)
P_2	= Curah hujan periode ulang 2th (inci)
N	= Koefisien Kekasaran permukaan Aliran (lihat lampiran)
W	= Kecepatan waktu tiba banjir
ΔH	= Beda tinggi antara titik terjauh sungai dengan outlet (m)
L	= Panjang sungai yaitu panjang horisontal dari titik teratas sampai titik outlet (km, m)

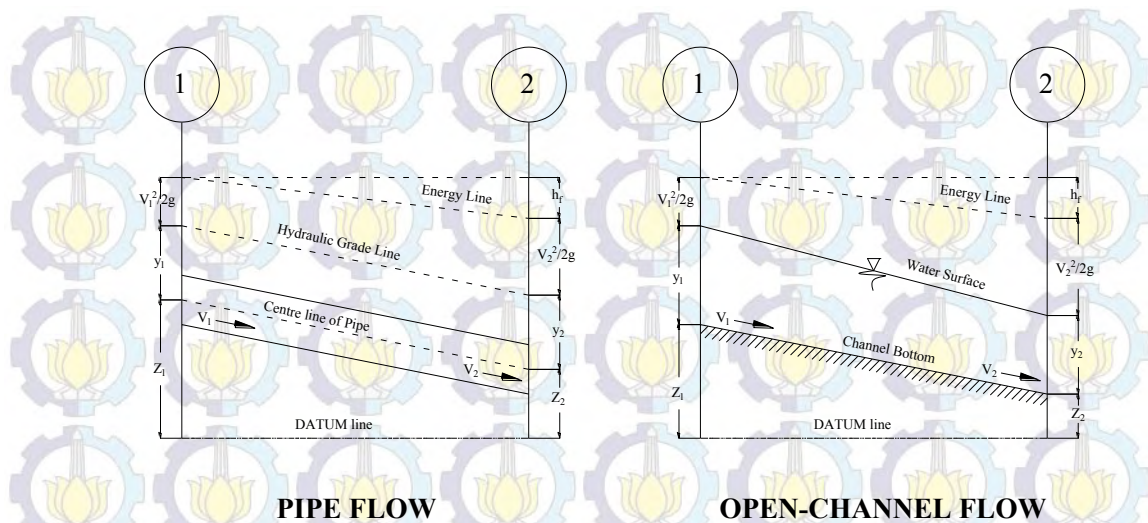
2.6 Analisa Hidrolika

Analisa hidrolika diperlukan untuk mengetahui kemampuan penampang sungai/saluran untuk menampung debit rencana. Sebagaimana telah dijelaskan pada subbab sebelumnya, bahwa salah satu penyebab banjir adalah ketidakmampuan penampang sungai/saluran dalam menampung debit banjir rencana yang terjadi.

2.6.1 Aliran Saluran Terbuka

Aliran air dalam suatu saluran dapat berupa aliran saluran terbuka (*open channel flow*) maupun aliran dalam pipa (*pipe flow*). Kedua jenis aliran tersebut sama dalam banyak hal, namun terdapat perbedaan dalam satu hal penting (Chow V.T., 1989).

Aliran pada saluran terbuka memiliki permukaan bebas (*free surface*), sedangkan aliran yang berada didalam pipa adalah sebaliknya, karena air harus mengisi seluruh permukaan pipa. Permukaan bebas dipengaruhi oleh tekanan udara, sedangkan aliran pipa tidak terpengaruh langsung oleh udara, kecuali oleh tekanan hidrolik.



Gambar 2.5 Perbandingan antara aliran pipa dengan aliran saluran terbuka

Tekanan yang ditimbulkan oleh air pada setiap penampang pipa ditunjukkan dalam tabung yang bersesuaian dengan kolom air setinggi y diatas garis tengah pipa. Jumlah energi dalam aliran dipenampang berdasarkan suatu garis persamaan adalah jumlah tinggi tempat z diukur dari garis tengah pipa, tinggi tekanan y dan tinggi kecepatan $\frac{V^2}{2g}$, dengan V adalah kecepatan rata-rata aliran.

Energi ini dinyatakan dalam gambar dengan suatu garis derajat energi (*energy grade line*) atau disingkat dengan garis energi (*energy line*). Energi yang hilang ketika air mengalir dari penampang 1 ke penampang 2 dinyatakan dengan h_f . Bagan serupa untuk aliran terbuka diperlihatkan dalam Gambar 2.7 sebelah kanan. Penyederhanaan dianggap bahwa aliran sejajar, kecepatannya seragam dan kemiringan salurannya kecil. Dalam hal ini permukaan air merupakan garis derajat hidrolis dan dalamnya air sama dengan tinggi tekanan.

Menurut hukum kekekalan energi, jumlah energi pada penampang 1 dan penampang 2 dihilir akan sama dengan jumlah tinggi h_f diantara kedua penampang, atau

$$z_1 + d_1 \cos \theta + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + d_2 \cos \theta + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_f \dots\dots\dots (2.20)$$

Persamaan ini berlaku untuk aliran sejajar atau berubah beraturan. Untuk suatu saluran yang kemiringannya kecil, persamaan diatas berubah menjadi :

$$z_1 + y_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + h_f \dots\dots\dots (2.21)$$

Kedua persamaan tersebut, dikenal dengan persamaan energi (energy Equation), jika $\alpha_1 = 1$ dan $h_f = 0$, persamaan (2.21) menjadi :

$$z_1 + y_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + h_f \dots\dots\dots (2.22)$$

Persamaan (2.22) adalah persamaan energi dari *Bernouli* yang sangat terkenal.

2.6.1.1 Tipe Aliran

Aliran pada saluran terbuka dapat dibagi menjadi banyak tipe. Penggolongan tipe aliran yang terjadi dalam saluran terbuka dapat didasarkan pada beberapa kriteria. Beberapa kriteria tersebut adalah :

- Kedalaman aliran (h)
- Terhadap waktu (t)
- Terhadap tempat (s)

Menurut Anggrahini (1997), aliran dapat dibedakan menjadi :

Menurut waktu sebagai kriteria

1. Aliran Tetap (*Steady Flow*)

Yaitu aliran dimana kedalaman air (h) tidak berubah menurut waktu atau dapat dianggap tetap dalam interval waktu, dengan demikian kecepatan aliran juga tidak berubah menurut waktu, $\frac{\partial h}{\partial t} = 0$ dan

$$\frac{\partial u}{\partial t} = 0.$$

2. Aliran Tidak Tetap (*Unsteady Flow*)

Yaitu aliran yang kedalamannya (h) berubah menurut waktu $\frac{\partial h}{\partial t} \neq 0$, demikian pula pada kecepatannya yang berubah menurut waktu

$$\frac{\partial u}{\partial t} \neq 0.$$

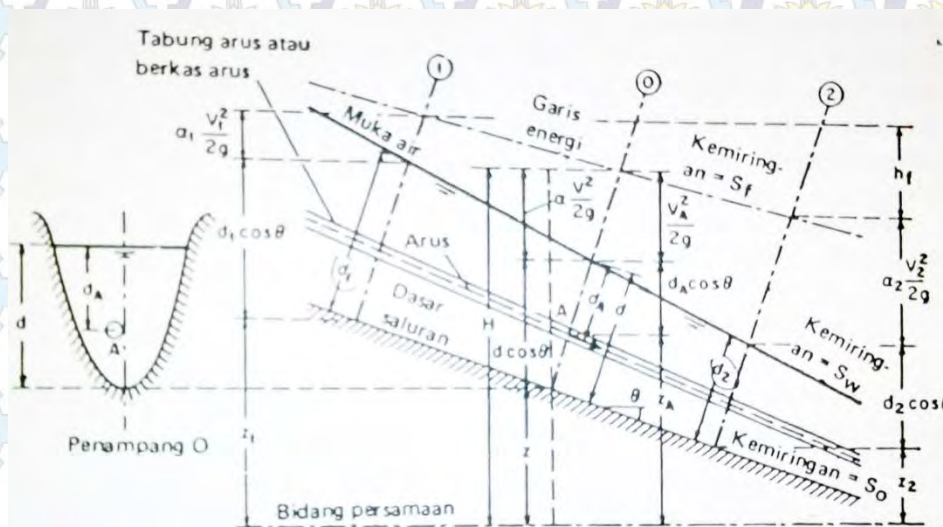
Dalam banyak hal, perhitungan saluran terbuka banyak dilakukan dengan mengasumsikan aliran sebagai aliran tetap, karena perhitungan aliran tetap lebih sederhana.

Menurut tempat sebagai kriteria

1. Aliran Seragam (*Uniform Flow*)

Aliran dikatakan seragam apabila kedalaman aliran (h) tidak berubah menurut tempat $\frac{\partial h}{\partial s} = 0$, dan kecepatannya juga tidak berubah terhadap tempat $\frac{\partial u}{\partial s} = 0$. Aliran seragam dapat pula tidak berubah menurut waktu dan berubah menurut waktu. Untuk aliran seragam yang tidak berubah menurut waktu (*steady uniform flow*) atau biasa disebut aliran beraturan dimana $\frac{\partial u}{\partial t} = 0$ dan $\frac{\partial u}{\partial s} = 0$.

Sedangkan untuk aliran seragam yang berubah menurut waktu bila fluktuasi muka air terjadi dari waktu ke waktu namun tetap paralel dengan dasar saluran. Aliran jenis ini disebut aliran seragam tidak tetap (*unsteady uniform flow*) dimana $\frac{\partial h}{\partial t} \neq 0$ tetapi $\frac{\partial u}{\partial s} = 0$. Dalam kondisi nyata, jenis aliran ini hampir tidak pernah terjadi, oleh karena itu aliran seragam hanya dipakai pada aliran tetap (*steady uniform flow*).

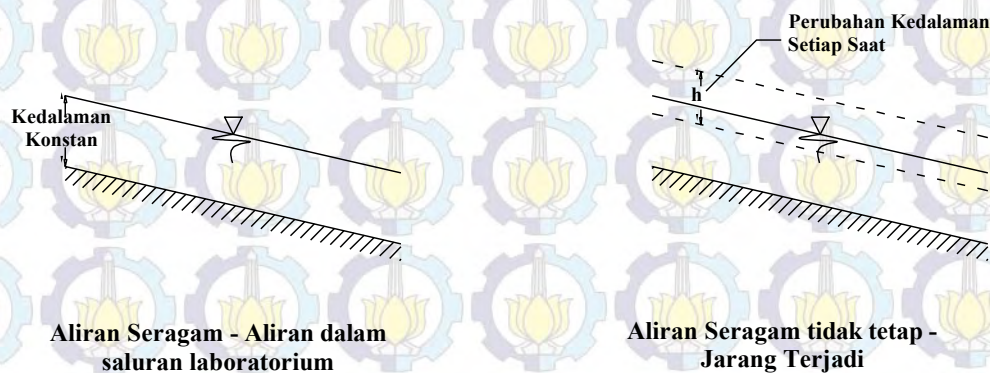


Gambar 2.6 Energi dalam aliran saluran terbuka berubah beraturan

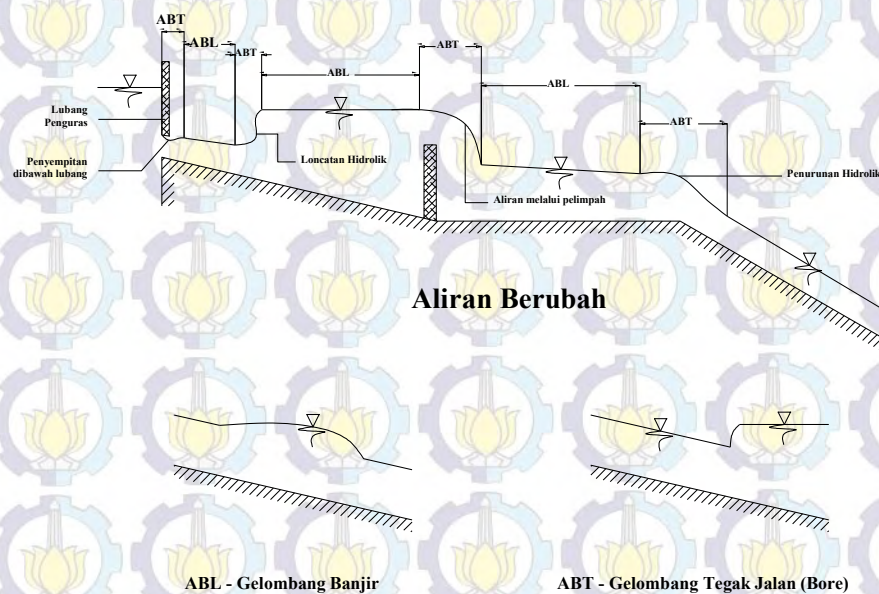
2. Aliran Tidak Seragam (*Non Uniform Flow*)

Yaitu aliran yang kedalaman alirannya (h) berubah-ubah menurut tempat disepanjang aliran $\frac{\partial h}{\partial s} \neq 0$, demikian pula dengan kecepatannya $\frac{\partial u}{\partial s} \neq 0$.

Aliran tidak seragam juga disebut aliran berubah-ubah (*varied flow*) yang dibedakan lagi menjadi aliran berubah lambat laun (*gradually varied flow*) dan aliran berubah dengan cepat (*rapidly varied flow*). Aliran berubah dengan cepat dikenal pula sebagai fenomena lokal, contohnya adalah loncatan air dan air terjun.



Gambar 2.7 Contoh berbagai tipe aliran (Anggrahini, 1997)



Gambar 2.8 Contoh berbagai tipe aliran (Anggrahini, 1997) - Lanjutan

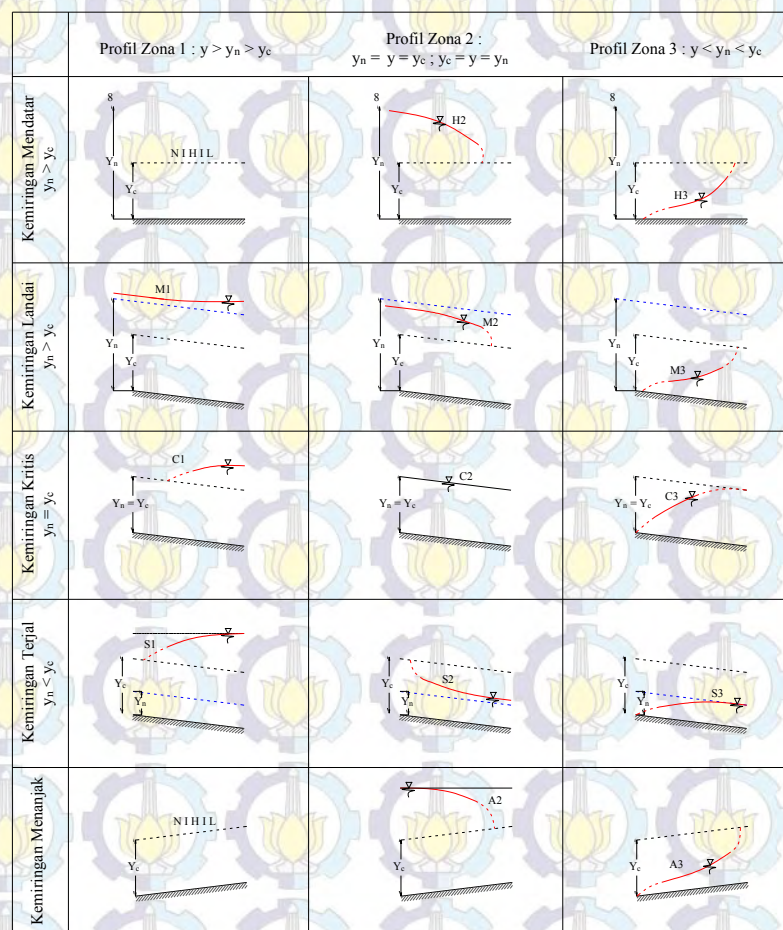
2.6.1.2 Aliran Berubah Lambat-laun

Perkembangan teori aliran berubah lambat-laun dimulai pada abad kedelapan belas. Banyak ahli hidrolika menyumbangkan andil dalam

perkembangan tersebut. Terdapat sebuah dasar yang menjadi landasan hal tersebut, yaitu :

“Kehilangan tinggi tekanan pada suatu penampang sama seperti pada aliran dengan kecepatan dan jari-jari hidrolis penampang yang sama”

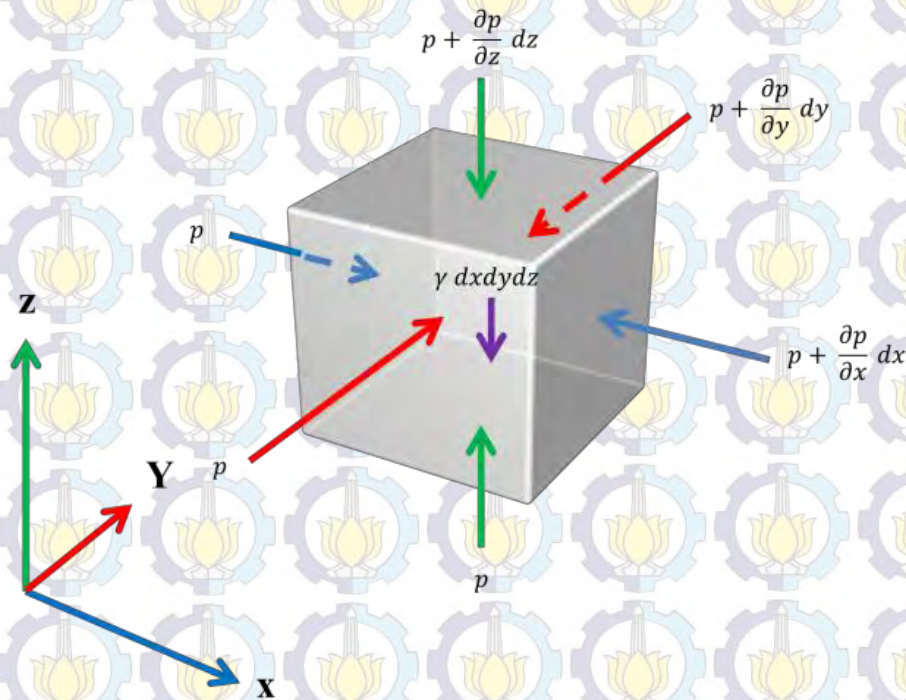
Menurut diatas, rumus aliran seragam dapat dipakai untuk menilai kemiringanenergi aliran berubah lambat laun pada penampang saluran tertentu, dan koefisien kekasaran yang semula dibuat untuk aliran seragam berlaku pula untuk aliran berubah lambat-laun. Anggapan ini tidak pernah dapat ditegaskan secara tepat menurut percobaan maupun teori-teori, tetapi kesalahan yang terjadi dianggap kecil dibandingkan dengan ketidaktepatan dalam pemakaian rumus aliran seragam dan pemilihan koefisien kekasarannya. Selama bertahun-tahun anggapan ini terbukti merupakan dasar yang baik untuk perancangan (Chow, 1989).



Gambar 2.9 Penggolongan profil aliran untuk aliran berubah lambat-laun

2.6.2 Persamaan Gerak dari Euler

Untuk aliran cairan yang tidak berkekentalan (*non-viscous*), Euler (1709-1783) menerapkan persamaan keseimbangan gaya-gaya yang bekerja pada suatu elemen cairan berbentuk *parallel eppipendum*.



Gambar 2.10 Skema tekanan pada permukaan suatu elemen cairan berbentuk parallel eppipendum

Dari skema pada Gambar 2.10 diketahui jumlah gaya-gaya yang bekerja diarah x adalah :

$$F_x = p \, dy \, dz - \left[p + \frac{\partial p}{\partial x} dx \right] dy \, dz$$

$$= p \, dy \, dz - p \, dy \, dz - \frac{\partial p}{\partial x} dx \, dy \, dz$$

atau :

$$F_x = - \frac{\partial p}{\partial x} dx \, dy \, dz \dots\dots\dots (2.23)$$

Adapun jumlah gaya-gaya yang bekerja diarah y adalah :

$$F_y = p \, dy \, dz - \left[p + \frac{\partial p}{\partial y} dy \right] dx \, dz$$

$$= p \, dx \, dz - p \, dx \, dz - \frac{\partial p}{\partial y} dx \, dy \, dz$$

atau :

$$F_y = - \frac{\partial p}{\partial y} dx \, dy \, dz \dots\dots\dots (2.24)$$

Adapun jumlah gaya-gaya yang bekerja diarah **y** adalah :

$$F_z = p \, dy \, dz - \left[p + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right] dx \, dy$$

$$= p \, dx \, dy - p \, dx \, dy - \frac{\partial p}{\partial z} dx \, dy \, dz - p \, g \, dx \, dy \, dz$$

atau :

$$F_z = - \frac{\partial p}{\partial z} dx \, dy \, dz - p \, g \, dx \, dy \, dz \dots\dots\dots (2.24)$$

2.6.3 Deskripsi Parameter Model

2.6.3.1 Koefisien Manning (n)

Pada saluran sederhana koefisien kekasaran Mannin (n) dapat diasumsikan sama untuk semua bagian keliling basah saluran. Koefisien Manning tergantung pada jenis metrial dan kondisi kondisi saluran. Pada umumnya, nilai Manning sebaiknya dikalibrasikan dengan setiap pengamatan terhadap profil muka air.

Terdapat beberapa refrensi yang dapat digunakan dalam menentukan nilai “n”, salah satunya dengan mengacu pada hasil penelitian Ven te Chow pada bukunya yang berjudul “Hidrolika aluran Terbuka” (1959). Berikut merupakan hasil kasifikasi nilai n pada berbagai kondisi umum dari saluran. Nilai koefisien manning dapat dilihat pada lampiran.

2.6.3.1 Periode Ulang (*Return Period*)

Pada perencanaan bangunan hidrolis, maka diperlukan sebuah analisa hidrologi untuk menentukan kemungkinan debit maksimum yang terjadi. Dalam perhitungan debit maksimum tersebut, maka terdapat parameter “periode ulang” sebagai dasar perhitungan. Periode ulang menentukan lamanya umur bangunan,

besarnya dimensi bangunan, serta secara langsung akan berpengaruh pada tingginya biaya konstruksi.

Pemilihan suatu besaran nilai periode ulang yang digunakan untuk menentukan besaran debit banjir maksimum tergantung pada peruntukan dan jenis dari bangunan tersebut. **Tabel 2.4** menunjukkan beberapa kriteria dalam penentuan periode ulang, yaitu :

Tabel 2.8 Besaran Kala Ulang sesuai dengan Jenis Bangunan

No.	Jenis Bangunan	Kala Ulang Banjir (tahun)
1.	Bendungan urugan tanah (earth/rock fill)	1000
2.	Bendungan beton/batu kali (concrete dam/masonry)	500 – 1000
3.	Bendung (weir)	50 – 100
4.	Saluran pengelak banjir (flood diversion channel)	20 – 50
5.	Tanggul sungai	10 – 20
6.	Drainase saluran disawah/pemukiman	5 - 10

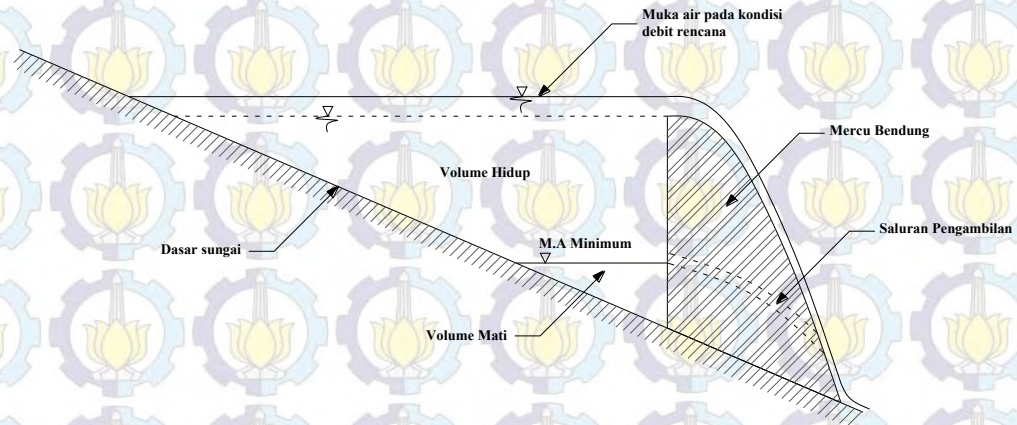
2.7 Bangunan Pengontrol Banjir

2.7.1 Waduk

Perencanaan waduk erat kaitannya dengan fungsi waduk pada saat dioperasikan. Kapasitas dan pembuangan air dari waduk harus direncanakan dengan cermat agar kapasitas tampungan dapat digunakan secara maksimum.

Storage (tampungan) waduk merupakan jumlah air yang akan ditampung/dialihkan dari debit limpasan (*runoff*) yang terjadi. Mengingat fungsi sebagai penampung air, maka waduk harus memiliki elevasi dan luas yang cukup. Untuk daerah yang tidak cukup luas, sehingga kedalaman waduk perlu ditingkatkan, sehingga lebih rendah dari muka air tanah. Oleh sebab itu maka perlu diperhitungkan juga aliran air tanah yang masuk sebagai debit tambahan yang masuk ke waduk.

Adapun zona-zona tampungan pada suatu waduk dapat dijelaskan melalui gambar berikut :



Gambar 2.11 Zona-zona volume waduk

2.7.2 Volume Waduk

Waduk (reservoir/storage) adalah kolam penampungan air yang berfungsi untuk menampung air pada saat musim hujan dan memanfaatkan air tampungan tersebut pada musim kemarau. Waduk berada pada lembah sungai yang bisa digunakan untuk penampungan, dibangun dengan membuat bendungan disungai lengkap dengan bangunan penunjang diantaranya Pelimpah, pintu air, dan bangunan pelimpah darurat.

Volume tampungan waduk direncanakan sesuai dengan tujuan dibangunnya waduk dan kebutuhan air rencana. Volume waduk yang terdapat disuatu bendungan biasanya terdiri atas tiga bagian utama, yakni *active storage*, *dead storage* dan *flood storage*.

1. *Active Storage*, adalah volume air waduk yang direncanakan untuk digunakan bagi pemakai dihilirnya, contoh : air untuk kebutuhan PLTA maupun irigasi.
2. *Dead Storage*, adalah volume waduk yang terletak dibagian bawah dari bangunan pelimpah, volume ini diperuntukkan bagi endapan sedimen yang masuk ke waduk. Volume dari *dead storage* merupakan penentu umur pemanfaatan waduk.

3. Flood Storage, adalah sebagian volume aktif waduk yang digunakan untuk mengontrol/mengendalikan debit banjir yang terjadi. Volume ini terdapat pada bagian atas dari mercu pelimpah. Sebagai sarana pengendali banjir, waduk diupayakan untuk menekan/menurunkan debit puncak dengan cara menyimpan sebagian air dan akan dilepas sedikit demi sedikit, sesuai dengan kapasitas sungai.

2.7.3 Penelusuran Banjir (*Flood Routing*)

Penelusuran banjir dapat juga diartikan sebagai penyelidikan perjalanan banjir (*flood tracking*) yang didefinisikan sebagai upaya prakiraan corak banjir pada bagian hilir berdasarkan corak banjir di daerah hulu (sumbernya). Oleh karena itu dalam kajian hidrologi penelusuran banjir digunakan untuk peramalan banjir dan pengendalian banjir (Sunu Tikno, 2002).

Terdapat beberapa metode penelusuran banjir, salah satunya yaitu penelusuran banjir hidrologis dan penelusuran banjir hidrolis. Pada penelusuran hidrologis dapat berupa penelusuran waduk atau sungai.

Penelusuran banjir dinyatakan dalam bentuk persamaan kontinuitas. Untuk melakukan perhitungan dengan persamaan kontinuitas, maka dimensi waktu (t) harus dibagi menjadi periode-periode Δt yang lebih kecil, yang disebut sebagai periode penelusuran (*routing period*). Periode penelusuran (Δt) harus dibuat lebih kecil dari tempuh dalam bagian memanjang sungai tersebut, sehingga selama periode penelusuran puncak banjirnya tidak dapat menutup bagian memanjang sungai secara menyeluruh (Soemarto, C.D., 1987). Persamaan kontinuitas yang dipakai adalah :

$$I - O = \frac{dS}{dt} \dots\dots\dots (2.25)$$

dimana :

I = Aliran masuk (*inflow*) $\rightarrow m^3/dt$

O = Aliran keluar (*outflow*) $\rightarrow m^3/dt$

dS = Perubahan tampungan (*storage*) $\rightarrow m^3$

dt = Interval waktu penelusuran (detik atau jam atau hari)

Persamaan (2.25) menunjukkan bahwa perubahan tampungan antara interval waktu (dt) adalah sama dengan aliran masuk dikurangi aliran keluar.

Terdapat hubungan antara tampungan, aliran masuk dan aliran keluar. Dalam persamaan (2.25), aliran masuk (I) diketahui, sedangkan terdapat 2 (dua) parameter lain yang belum diketahui yaitu O dan S. Parameter O dan S tidak dapat diselesaikan secara langsung, diperlukan persamaan lain untuk menyelesaikannya yang disebut fungsi tampungan, dimana persamaan ini merupakan hubungan antara I, S, dan O.

Menurut Mc Carthy dalam Wilson (1974) yang kemudian dikenal sebagai metode Muskingum, diajukan suatu persamaan yaitu :

$$S = KO + Kx(1 - O) \dots\dots\dots (2.26)$$

dimana :

S = Volume tampungan (m³)

I = Aliran masuk (inflow) → m³/dt

O = Aliran keluar (outflow) → m³/dt

K = Koefisien tampungan, yaitu perkiraan waktu perjalan air sungai

x = Faktor pembobot, yang bervariasi antara 0 – 0,5

Suatu waduk dilengkapi dengan bangunan pelimpah (*spillway*). Aliran yang melalui pelimpah tergantung pada lebar bangunan pelimpah (B), tinggi pelimpah (H) dan koefisien debit (C_d) yang dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$Q_o = C_d B H^{3/2} \dots\dots\dots (2.27)$$

dimana :

Q_o = Debit outflow (m³/dt)

C_d = Koefisien Debit

B = Lebar Pelimpah (m)

H = Tinggi pelimpah (m)

Persamaan (2.27) dapat diselesaikan secara numerik dengan membuat diskritisasi numerik. Apabila interval waktu penelusuran adalah Δt, maka persamaan (2.27) ditulis menjadi :

$$\frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{O_1 + O_2}{2} = \frac{S_1 - S_2}{\Delta t} \dots\dots\dots (2.28)$$

dimana :

I_1, I_2 = Aliran masuk pada waktu ke-1 dan ke-2

O_1, O_2 = Aliran keluar pada waktu ke-1 dan ke-2

S_1, S_2 = Tampung pada waktu ke-1 dan ke-2

Δt = Interval waktu

2.8 Konsep Pemodelan menggunakan Software

2.8.1 Pemodelan Hidrologi

2.8.1.1 Gambaran Umum HEC-HMS

HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Centre – Hydrologic Modeling System*) merupakan *software* pemodelan hidrologi yang dikembangkan oleh U.S. Army Corp of Engineers. Software ini dikembangkan untuk mempermudah perhitungan volume *runoff*, *direct runoff*, *baseflow* dan *routing*.



US Army Corps
of Engineers
Hydrologic Engineering Center

Hydrologic Modeling System
HEC-HMS

Pendekatan sistem DAS yang digunakan pada HEC-HMS dapat digambarkan bahwa hujan merupakan input yang diproses berdasarkan propertis dari sistem DAS yang menghasilkan suatu output berupa debit (*runoff*). Proses tersebut dapat diilustrasikan seperti **Gambar 2.14**.



Gambar 2.12 Transformasi hujan menjadi aliran (HEC-HMS)

Dalam HEC-HMS terdapat beberapa model yang terpisah dimana masing-masing model yang dipilih mempunyai input yang berbeda-beda.

Beberapa model yang digunakan untuk menghitung volume runoff, direct runoff, baseflow dan channel flow ditunjukkan pada Tabel

Tabel 2.9 Metode Pemodelan pada HEC-HMS

No.	Komputasi	Model
1.	<i>Precipitation</i>	<ul style="list-style-type: none"> - User Hydrograph - User Gage Weighting - Inverse Distance Gage Weight - Gridded Precipitation - Frequency Storm - Standart Project Storm
2.	<i>Volume Runoff</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Initial and Constant Rate - SCS Curve Number - Gridded SCS CN - Green and Ampt - Deficit and Constant Rate - Soil Moisture Accounting (SMA) - Gridded SMA
3.	<i>Direct Runoff (Overland Flow dan Interflow)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - User-Specified Unit Hydrograph - Snyder Unit Hydrograph - SCS Unit Hydrograph - Clark Unit Hydrograph - ModClark Model - Kinematic Wave Model
4.	<i>Base Flow</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Constant Montly - Exponential Reccesion - Linier Reservoir
5.	<i>Channel Flow</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Kinematic Wave - Lag Model - Modified Puls - Muskingum - Muskingum – Cunge Model

Sumber : Technical Refrence Manual HEC-RAS (2000)

Dalam HEC-HMS terdapat beberapa model yang terpisah, dimana masing-masing model yang dipilih memiliki input yang berbeda-beda. Komputasi dan penyelesaian model menggunakan komponen berupa : Variabel tetap, parameter, kondisi batas dan kondisi awal.

Komponen dasar yang digunakan dalam pemodelan ini adalah model basin (DAS), model meteorologi dan kontrol spesifikasi. Pemodelan komprehensif juga memasukkan komponen data berupa time series dan paired grid.

2.8.1.2 Parameter Input pada HEC-HMS

Pada penggunaan HEC-HMS terdapat beberapa parameter input, diantaranya :

Basin Model (Model daerah tangkapan)

Representasi fisik dari *catchment area* (daerah tangkapan) didefinisikan dalam *Basin Model*. Elemen-elemen hidrologi berhubungan dalam jaringan yang mensimulasikan sebuah proses limpasan langsung (*run off*). Elemen-elemen yang digunakan untuk mensimulasikan limpasan adalah subbasin, reservoir, reach dan junction.

Sub Basin Model (Model Sub DAS)

Parameter Sub Basin merupakan model dari sub DAS pada sebuah DAS dan hanya memiliki 1 outflow.

Reservoir (Tampungan)

Parameter Reservoir adalah elemen dengan satu atau lebih inflow dan satu perhitungan outflow. Inflow masuk dari elemen lain dalam suatu DAS. Reservoir dapat berupa waduk, danau, atau empang.

Reach (Sungai)

Parameter Reach adalah sebuah elemen dengan satu atau lebih inflow dan hanya memiliki satu outflow. Inflow datang dari elemen/parameter lain dalam sebuah DAS.

Junction

Parameter Junction merupakan sebuah model pertemuan dari reach atau Sub Basin yang hanya memiliki satu atau lebih inflow dan hanya memiliki 1 outflow.

Diversion

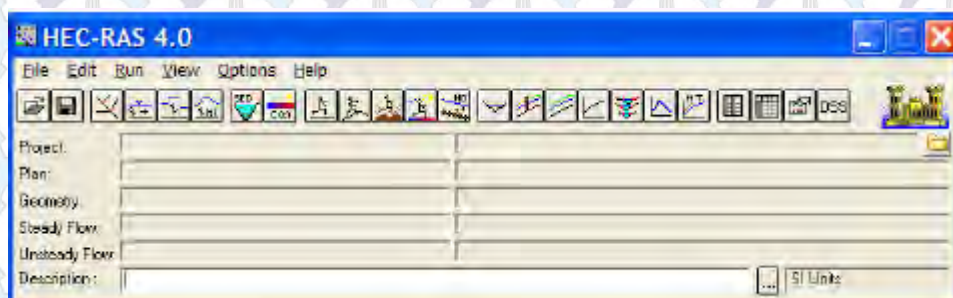
Parameter diversion adalah model dari bentuk percabangan sungai yang memiliki 2 outflow.

2.8.1 Pemodelan Hidrolika

2.8.1.1 Gambaran Umum HEC-RAS

HEC-RAS merupakan program aplikasi untuk memodelkan aliran sungai, River Analysis System (RAS), yang dikembangkan oleh Hydrologic Engineering Centre (HEC) yang merupakan satu divisi didalam Institute for Water Resources (IWR), dibawah US Army Corps of Engineers (USACE). HEC-RAS merupakan pemodelan aliran 1 dimensi baik untuk aliran permanen (steady flow) maupun aliran tidak permanen (unsteady flow). HEC-RAS memiliki empat komponen model 1 dimensi, diantaranya :

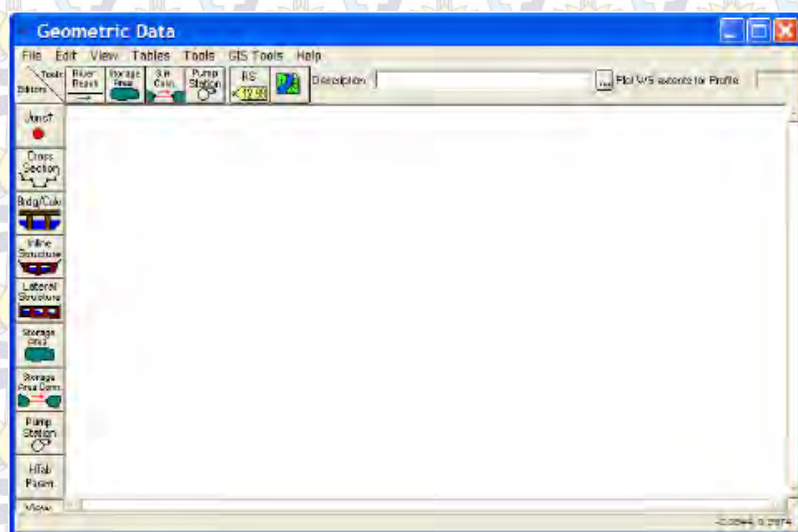
- Hitungan profil muka air aliran permanen (Steady flow Analysis)
- Hitungan profil muka air aliran tak permanen (Unsteady flow Analysis)
- Hitungan Transpor sedimen
- Hitungan Kuasi air



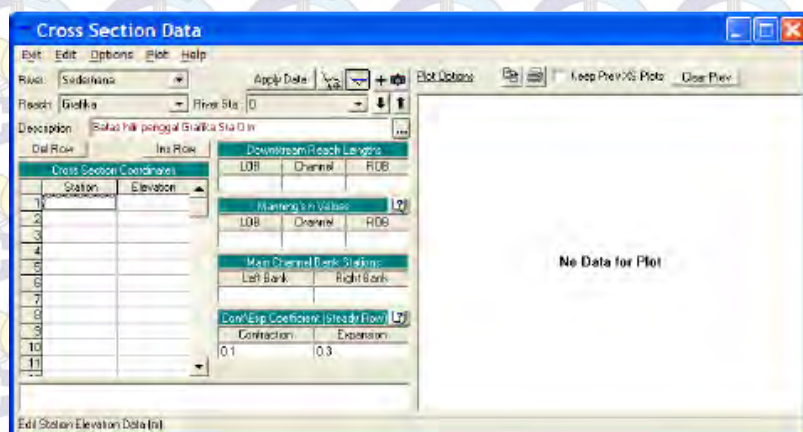
Gambar 2.13 Tampilan awal program HEC-RAS

2.8.1.2 Peniruan Geometri Saluran/Sungai

Parameter geometri saluran/sungai yang dibutuhkan pada input HEC-RAS adalah alur sungai, tampang panjang dan lintang, kekasaran dasar (koefisien Manning), kehilangan energi ditempat perubahan tampang saluran (koefisien ekspansi dan kontraksi). HEC-RAS juga membutuhkan geometri struktur hidrolis yang ada disepanjang sungai, misal jembatan, pintu air, bendung, pelimpah dan sejenisnya.



Gambar 2.14 Jendela Editor Geometrik Data



Gambar 2.15 Jendela Editor Cross Section Data

Pada tampang melintang, apabila dibutuhkan interpolasi pada cross section maka digunakan menu Interpolasi tampang lintang pada Menu *Geometric Editor* → *Tools* → *XS Interpolation*.

2.8.1.2 Unsteady Flow Analysis

Unsteady flow Analysis merupakan fasilitas simulasi pada HEC-RAS yang memiliki kemampuan melakukan simulasi pada alur sungai yang kompleks.

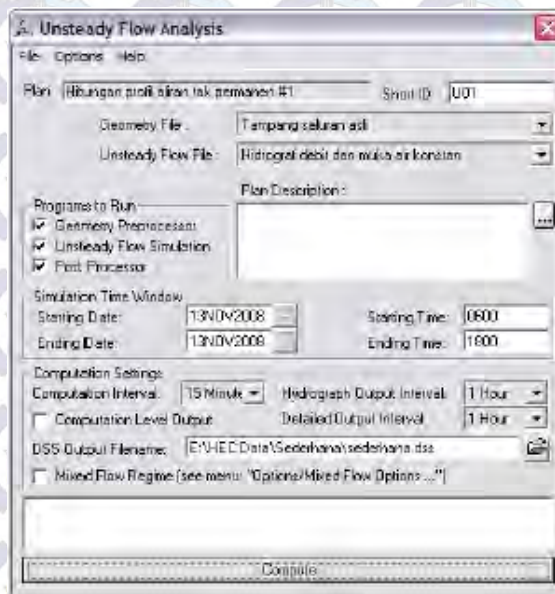
Pada analisis Unsteady Flow, dibutuhkan data berupa geometri sungai dan data aliran berupa Hidrograf debit dan waktu simulasi. Hal ini untuk melihat profil muka air sesuai dengan interval waktu yang diinginkan.



	Date	Simulation Time (hours)	Flow (m³/s)
1		00:00	3
2		01:00	3
3		02:00	3
4		03:00	6
5		04:00	9.57
6		05:00	9.14
7		06:00	4.71

Gambar 2.16 Jendela input data Hidrograf

Setelah proses input parameter selesai, maka data siap untuk dilakukan proses analisa. Untuk melakukan analisa pilih menu *Run* → *Unsteady Flow Analysis*.



Gambar 2.17 Tampilan pada menu Unsteady Flow Analysis

2.9 Studi/penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang mirip dan berkaitan dengan penelitian ini. Beberapa penelitian sebelumnya memiliki lokasi penelitian yang sama namun terdapat perbedaan pembahasan yang dilakukan. Selain itu terdapat beberapa penelitian yang memiliki tujuan yang mirip namun terdapat beberapa perbedaan seperti metode perhitungan yang digunakan, lokasi penelitian dan skenario penanganan. Berikut beberapa penelitian sebelumnya :

Tabel 2.10Perbandingan penelitian sebelumnya dengan penelitian yang dilakukan

No.	Judul & Penulis	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1.	“Kajian Alternatif Penanggulangan Banjir (Studi Kasus Sungai Ladapa di Kabupaten Gorontalo)” <i>Sarminingsih, A. (2007)</i>	Melakukan evaluasi pemilihan alternatif upaya penanggulangan banjir secara struktural	Penelitian menggunakan pendekatan sistem tata air, penggunaan alahan dan sosial ekonomi. Perhitungan debit rencana menggunakan perangkat lunak HEC-HMS dengan metode HSS Snyder. Untuk analisa hidrolika menggunakan perangkat lunak HEC-RAS.	<ul style="list-style-type: none"> - Mengetahui hasil evaluasi terhasap beberapa alternatif dari penanggulangan banjir baik secara struktural dan non Struktural. - Untuk struktural, alternatif menggunakan tanggul dan pintu klep. Penggunaan waduk retensi memiliki efektifitas dalam menurunkan debit puncak banjir. - Sedangkan untuk non-struktural yaitu dengan reboisasi, relokasi penduduk bantaran sungai dan peringatan dini banjir
2.	“ ennilaian Tingkat Kerusakan Daerah Aliran Pada Sub sub DAS Bayur di Sub DAS Karang Mumus” <i>Ismail (2007)</i>	Untuk mengetahui besarnya curah hujan, debit air dan sedimen pada Sub sub DAS Bayur Sub DAS Karang Mumus dan menentukan nilai kerusakan pada sub sub DAS Bayur Sub DAS Karang Mumus	Penelitian menggunakan indikator Koefisien regim sungai, dimana indikator tersebut adalah perbandingan debit aliran maksimum dengan debit aliran minimum harian dalam satu tahun pengamatan. Selain itu dengan menggunakan indikator nilai koefisien pengaliran (C) sebagai penenti tingkat kerusakan DAS.	Mengetahui kondisi wilayah sub sub DAS Bayur dimana kondisi wilayah masuk dalam kategori agak buruk. Dengan total aliran limpasan yang terpantau dalam kurun waktu 2005 sebesar 51.671 m ³ /dt.
3.	“ t udi Alternatif Pengendalian Banjir Sungai Tondano di Kota	Menentukan ruas-ruas kritis di Sungai Tondano guna penentuan prioritas	Penentuan debit banjir berdasarkan kala ulang 5th dengan meghitung debit menggunakan hidrograf satuan sistetis	<ul style="list-style-type: none"> - Diketahui banjir sungan Tondano akibat fullbank capacity sungai yang kecil (87m³/dt). Untuk debit dengan kala ulang 5th, kombinasi rencana tanggul

	Manado” Nanlohy, B. J. B., Jayadi, R. dan Istiarto (2008)	pembangunan dan mendapatkan alternatif pengendalian banjir terbaik berdasarkan kajian beberapa alternatif yang ada.	Nakayasu dan HSS GAMA I pada DAS Tondano dan DAS Tikala. Penggunaan data pasang – surut pada muara sebagai bahan kajian alternatif pengendalian banjir.	dan normalisasi tidak terjadi limpasan. - Adanya pengaruh backwater membuat harus adanya revisi tanggul pada bagian ruas sungai tertentu.
4.	“Keseimbangan Air sub DAS Karang Mumus di Kota Samarinda” Ismail (2009)	Untuk mengetahui kondisi keseimbangan air sub DAS Karang Mumus termasuk kondisi unsur-unsur iklim khususnya hujan dan kondisi hidrologinya	Metode yang digunakan adalah metode yang dikemukakan oleh Hewlett dan Nutter dengan parameter berupa Curah hujan bulanan, evapotranspirasi total, debit limpasan permukaan dan perubahan kandungan air tanah.	Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa debit sungai Karang Mumus tertinggi terjadi pada bulan April. Selain itu sub DAS Karang mumus memiliki surplus air selama 8 bulan dengan nilai kumulatif sebesar 478.8 mm/tahun dan defisit air selama 4 bulan (44.5 mm/th)
5.	“Perencanaan Pengendalian Banjir Kali Kemuning, Samarinda” Cahyono, A. T. (2011)	<ul style="list-style-type: none"> - Mengetahui kapasitas tampung kali kemuning - Mengetahui kemampuan alur kali kemuning terhadap debit banjir rencana - Mengetahui alternatif pengendalian banjir Kali Kemuning - Mengetahui kinerja dari beberapa alternatif yang digunakan. 	<ul style="list-style-type: none"> - Melakukan survey lapangan - Perhitungan debit banjir menggunakan HSS Nakayasu. - Analisa hidrolika menggunakan software HEC-RAS dengan metode Steady Flow - Alternatif I berupa sudetan pada kali kemuning - Alternatif II berupa Normalisasi kali Kemuning - Alternatif III berupa sudetan dan penutupan kali kemuning eksisting. 	<ul style="list-style-type: none"> - Debit puncak dengan kala ulang 25th adalah 317.268 m³/dt. - Diketahui beberapa ruas kali Kemuning tidak mampu mengalirkan debit banjir - Alternatif yang bisa digunakan adalah alternatif II dan III

6.	<p>“emanfaatan itra Pengindraan Jauh Multitemporal Untuk Kajian Tingkat Bahaya Erosi (Kasus di Sub DAS Karang Mumus, Kalimantan Timur)”</p> <p>Fatmanegara, M. A. dan Jatmiko, R. H. (2013)</p>	<p>Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan citra pengindraan jauh untuk menilai perubahan lahan yang terjadi, selain itu untuk mengetahui tingkat bahaya erosi akibat kegiatan pembukaan lahan, serta mengetahui faktor dominan yang mempengaruhi proses erosi.</p>	<p>Penggunaan citra satelit untuk melihat perubahan tata guna lahan dan penentuan kerusakan lahan.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sub DAS Karang Mumus terbagi menjadi 7 kelas penggunaan lahan dengan jenis semak belukar merupakan penggunaan lahan yang dominan. - Tingkat erosi masuk pada kelas sedang (2007) dengan luas 10056.72 Ha. - Tingkat erosi tahun 2009 meningkat menjadi kategori Berat.
7.	<p>“emodelan Hidrologi untuk Penentuan Tingkat Prioritas Sub DAS dalam Pengendalian Banjir Menggunakan Citra Pengindraan Jauh dan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus di Sub DAS Karang Mumus, Kalimantan Timur)”</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Menganalisis karakteristik fisik Sub DAS Karang Mumus - Memodelkan limpasan permukaan dari limpasan permukaan Sub DAS Karang Mumus - Menggunakan GIS Surface Hydrology Tools - Menentukan tingkat 	<p>Pemodelan hidrologi dilakukan untuk limpasan permukaan dengan basis raster menggunakan metode Cook yang dimodifikasi SCDT (2011).</p> <p>Metode mempertimbangkan karakteristik fisik DAS (kemiringan lereng, infiltrasi tanah, tutupan vegetasi dan kerapatan aliran). Penentuan karakteristik DAS dilakukan dengan informasi dari citra pengindraan jauh, data meteorologi, data</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Citra pengindraan jauh cukup akurat dalam mengekstraksi informasi variabel lahan (86.3% untuk data DEM; 85.8% untuk kemiringan lereng dan 84.6% untuk tutupan lahan) - Kemiringan lereng dan tutupan lahan merupakan karakteristik DAS yang paling mempengaruhi kejadian limpasan permukaan - SSD Karang Mumus Hulu menjadi prioritas utama dalam pengendalian banjir.

	Ramadhani, A. (2013)	prioritas sub sub DAS di Sub DAS Karang Mumus dalam pengendalian banjir Kota Samarinda berdasarkan Informasi Aliran Permukaan	sekunder dan survey lapangan. GIS Hydrology Surface Tools menggunakan data DEM dioperasikan untuk penentuan akumulasi limpasan permukaan. Akumulasi limpasan permukaan dibandingkan dengan kapasitas maksimum sungai untuk penentuan prioritas sub sub DAS dalam pengendalian banjir.	
8.	“ t udi engendalian Banjir Kali Wrati Kabupaten asuruan” K. Rizal A., Harisuseno, D. dan Dermawan, V. (2014)	Menganalisis kala ulang kejadian banjir yang pernah terjadi di Kali Wrati , mengetahui upaya-upaya pengendalian banjir yang bisa dilakukan pada sungai tersebut serta besarnya biaya yang dikeluarkan untuk pembangunan pengendalian banjir Kali Wrati.	<ul style="list-style-type: none"> - Perhitungan debit banjir rencana menggunakan HSS Nakayasu. - Analisa profil muka air menggunakan HEC-RAS metode Steady Flow. 	<ul style="list-style-type: none"> - Debit puncak 17.811 m³/dt untuk kala ulang 25th. - Banjir dapat dikendalikan dengan 2 (dua) solusi yaitu pembuatan koneksi antara kali Wrati dengan Kali Bangiltak. yang kedua dengan menggunakan retarding basin dengan volume retarding basin I 1603m³, retarding basin II 3201m³.
9.	“Analisa Penanggulangan Banjir Sungai Karang Mumus, Samarinda” Sukmara, Riyan Benny	- Mengetahui kemampuan sungai Karang Mumus akibat debit banjir yang mengalir pada kondisi	<ul style="list-style-type: none"> - Perhitungan debit rencana menggunakan HSS SCS Curve Number - Tinjauan profil muka air menggunakan HEC-RAS metode <i>Unsteady Flow Analysis</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Debit puncak pada kala ulang 20th untuk titik kontrol muara sungai sebesar 516.8m³/dt. - Perubahan kapasitas waduk tidak berpengaruh signifikan, terbukti dengan percobaan normalisasi

	(2014)	<p>eksisting.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mengetahui profil muka air Sungai Karang Mumus akibat debit kondisi eksisting yang mengalir. - Mengetahui kemampuan reduksi debit banjir setelah penerapan model skenario penanggulangan banjir. - Mengetahui profil muka air Sungai Karang Mumus setelah penerapan model skenario penanggulangan banjir. - Mengetahui solusi dan menyusun rekomendasi penanggulangan banjir yang dapat diaplikasikan pada Sungai Karang Mumus. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alternatif yang digunakan pada skenario pengendalian banjir menggunakan beberapa metode, yaitu Normalisasi waduk, rencana bangunan pengendali banjir (bendali) dan normalisasi penampang sungai. 	<p>waduk, nilai reduksi debit banjir (kala ulang 20th) pada outlet waduk hanya sebesar 13.69% dan pada titik kontrol hilir hanya sebesar 0.31%.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aliran lateral berpengaruh besar pada besarnya debit setelah outlet waduk Benanga - Alternatif Kombinasi Normalisasi Waduk dan Penggunaan bangunan pengendali banjir menghasilkan nilai reduksi sebesar 59.2% pada outlet waduk dan 26% pada titik kontrol bagian hilir. - Dari hasil analisa, diketahui tinggi pasang-surut Sungai Mahakam sangat berpengaruh dalam tingginya elevasi muka air bagian hilir, sehingga perlu ada koreksi penampang sungai yaitu dengan penambahan tanggul sungai hingga elevasi +4m sampai dengan jarak yang dipengaruhi oleh adanya <i>Back Water</i>.
--	--------	--	--	---

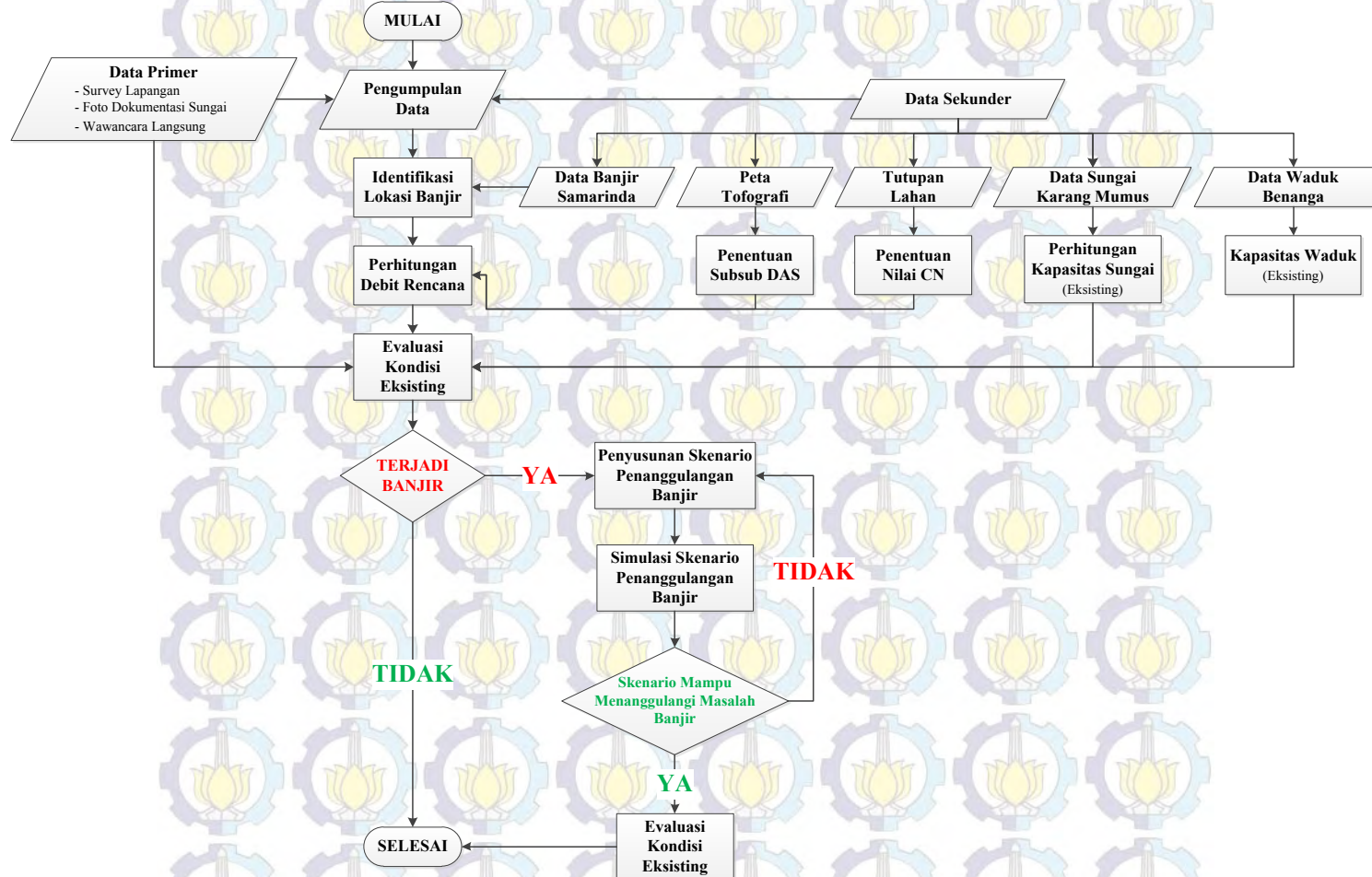
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Penelitian tentang “Analisa Penanggulangan Banjir Sungai Karang Mumus Samarinda” bermula dari permasalahan banjir yang terjadi di Samarinda. Banjir di Samarinda merupakan permasalahan yang terbilang cukup kompleks, karena kondisi topografi yang bervariasi dimana bagian hulu yang didominasi dataran tinggi/perbukitan dan daerah hilir yang relatif datar (*flat*). Hal ini menyebabkan kecepatan aliran di hilir relatif rendah sehingga menyebabkan tingginya elevasi muka air dan menurunnya kapasitas sungai. Selain karena kondisi topografi, ada hal yang cukup penting dalam peningkatan debit limpasan yang terjadi, yaitu perubahan tutupan lahan, dimana hal ini terjadi di daerah tangkapan air dari waduk Benanga. Disamping itu, hasil pengukuran kapasitas waduk Benanga mengalami penurunan kapasitas tampungan (ditunjukkan oleh lengkung kapasitas), dan secara otomatis akan berpengaruh pada kemampuan sungai (Sungai Karang Mumus) untuk menampung debit dari outlet waduk.

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis terhadap Muka Air pada Sungai Karang Mumus (SKM) akibat perubahan kapasitas waduk Benanga, selain itu analisis juga dilakukan dengan mempertimbangkan aliran lateral yang masuk kedalam SKM. Proses analisis dilakukan dengan penyusunan skenario-skenario dalam penanganan masalah banjir yang terjadi, dimana nantinya pemilihan alternatif terbaik dari skenario-skenario yang telah disusun sebelumnya juga akan mempertimbangkan kesesuaian dalam pelaksanaan dilapangan yang menyangkut ketersediaan lahan di wilayah penanganan. Kerangka penelitian ini digambarkan dalam diagram alir pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Diagram Alir

3.2 Penjelasan Bagan Alir

3.2.1 Persiapan

Tahap persiapan merupakan rangkaian kegiatan sebelum masuk pada tahap pengumpulan data. Tahap persiapan meliputi kegiatan :

- Studi Literatur

Studi literatur terhadap sumber-sumber pustaka baik buku referensi maupun hasil-hasil penelitian sebelumnya yang nantinya akan digunakan dalam penelitian. Bidang literatur yang digunakan antara lain :

- a. Hidrolika Saluran Terbuka
- b. Hidrologi
- c. Manajemen Sumber Daya Air
- d. Manajemen Banjir Kota
- e. Pemodelan Hidrolika dan Hidrologi

- Survey Lapangan

Survey lapangan dilakukan untuk mengetahui kondisi asli/eksisting lokasi penelitian, hal ini dimaksudkan agar nantinya hasil penelitian sesuai dan dapat dilaksanakan di lapangan.

3.2.2 Pengumpulan Data

Dalam Thesis kali ini digunakan beberapa metode pengumpulan data, yaitu :

- Metode Observasi

Metode ini merupakan pengumpulan data langsung dengan survey kondisi lapangan secara langsung.

- Metode Literatur

Yaitu penhumpulan/pengambilan data melalui dokumen tertulis maupun elektronik dari sumber terkait (instansi).

- ***Metode Wawancara***

Metode pengumpulan data dengan melakukan wawancara langsung pada pihak yang bersangkutan dan berkaitan dengan topic permasalahan (Institusi maupun Instansi terkait)

Terdapat 2 (dua) jenis data yang dibutuhkan dalam dalam penelitian kali ini, diantaranya :

Data Primer

- ***Foto***

Foto yang dimaksud adalah foto kondisi eksisting pada lokasi studi

- ***Survey***

Survey yang dimaksud disini adalah data hasil identifikasi kondisi lapangan yang berkaitan dengan kebutuhan studi.

Data Sekunder

- ***Data Hidrologi***

Data hidrologi dapat berupa data curah hujan dalam *range* waktu 10 (sepuluh) tahun terakhir.

- ***Data Debit Sungai Karang Mumus***

Data hasil pengukuran pada AWLR setempat (Sungai Karang Mumus), yang nantinya digunakan sebagai pembanding pada pemodelan hidrologi.

- ***Data Tofografi Samarinda***

Data tofografi berupa peta tofografi (kontur) wilayah studi

- ***Data RTRW (Rencana Tata Ruang Wilayah) Samarinda***

Data RTRW digunakan untuk melihat tata guna lahan di wilayah studi

- ***Data Lokasi Titik Banjir di Samarinda***

Data ini merupakan data spesifik lokasi banjir yang terjadi di wilayah studi.

- ***Data Waduk Benanga***

Data ini berupa data kapasitas dari waduk Benanga

3.2.3 Analisa

Proses analisa terdiri dari analisa kondisi Eksisting dan kondisi setelah pengaplikasian Skenario.

Kondisi Eksisting

Analisa Hidrologi

Analisa hidrologi digunakan untuk memperoleh debit banjir dari Skema Eksisting. Dalam proses ini digunakan berbagai metode perhitungan dan dibantu dengan perangkat lunak HEC-HMS.

Analisa Hidrolika

Analisa hidrolika dilakukan untuk melihat kondisi profi muka air di Sungai Karang Mumus pada kondisi eksisting. Dari kondisi kondisi eksisting dapat terlihat apakah terjadi banjir atau tidak. Jika terjadi banjir maka proses dilanjutkan pada proses penanggulangan banjir.

Penanggulangan Banjir

Penyusunan Skenario

Penyusunan skenario penanganan banjir dilakukan setelah proses evaluasi terhadap hasil analisa hidrologi dan hidrolika pada kondisi eksisting Sungai Karang Mumus. Skenario disusun untuk mendapatkan alternatif penanganan banjir yang efektif.

Analisa Hidrolika (Simulasi)

Analisa hidrolika dilakukan untuk menguji skenario-sekenario penanganan masalah banjir terhadap kemampuan sungai dalam menampung debit yang mengalir di Sungai Karang Mumus. Analisa dilakukan dengan program bantu HEC-RAS 4.10.

Pemilihan Alternatif Terbaik

Pemilihan alternatif terbaik dilakukan dengan metode pengambilan keputusan, dimana parameter-parameter yang menjadi tolok ukur adalah kecukupan penampang sungai dalam menampung debit yang mengalir, kesesuaian terhadap kondisi lapangan dan parameter lainnya akan ditentukan selanjutnya.

3.2.3 Penysunan Rekomendasi

Setelah semua proses analisa selesai, maka akan dilakukan proses penyusunan rekomendasi yang nantinya akan menjadi bagian dari kesimpulan penelitian ini.

BAB IV LOKASI STUDI

4.1 Gambaran Umum

Sub DAS Karang Mumus merupakan bagian dari DAS Mahakam berada di wilayah kewenangan Balai Besar Wilayah Sungai Kalimantan III. Sub DAS Karang Mumus terletak di sebagian besar wilayah Kota Samarinda dan sebagian kecil wilayah Kabupaten Kutai Kartanegara.



Gambar 4.1 Lokasi studi (kota Samarinda, Kal-Tim)

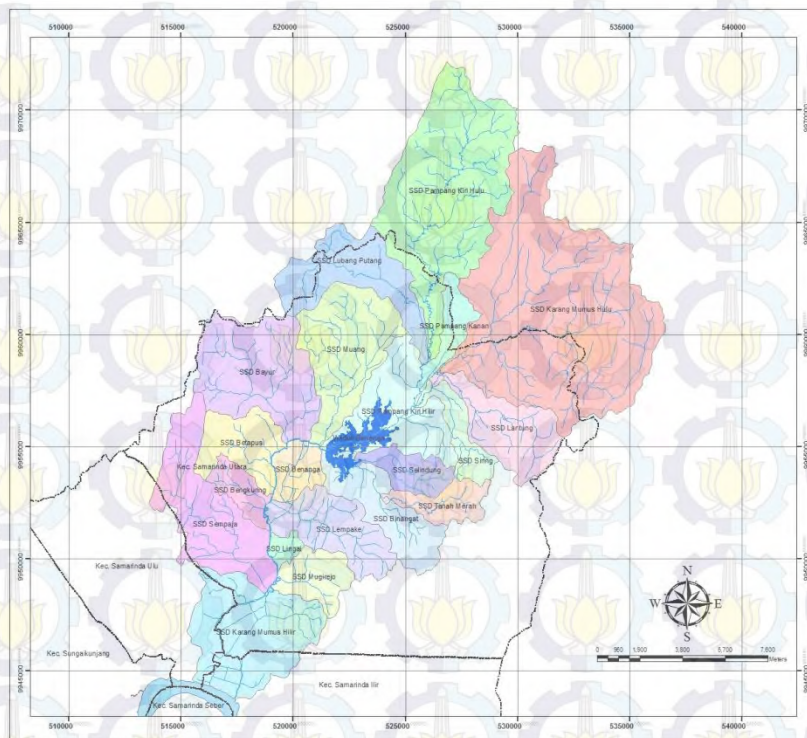
Sub DAS ini terletak pada koordinat geografis $0^{\circ}15'06,7''$ – $0^{\circ}30'33,4''$ LS dan $117^{\circ}7'19,2''$ – $117^{\circ}19'43,7''$ BT, dan pada koordinat UTM 513575 – 536589 mT dan 9943710 – 9972162 mU. Untuk wilayah Samarinda, sub DAS Karang Mumus mencakup beberapa kecamatan diantaranya kecamatan Samarinda Utara, sebagian kecamatan Sungai Pinang, Samarinda Ulu, Samarinda Ilir, kecamatan Sambutan dan Kecamatan Samarinda Kota. Pada kabupaten Kutai Kartanegara mencakup wilayah kecamatan Muara Badak.

(Sumber : Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Kalimantan Timur)

Gambar 4.2 Pembagian Sub sub DAS Karang Mumus

Sub DAS Karang Mumus memiliki luas daerah tangkapan (Catchment Area) seluas $321,6 \text{ Km}^2$ dengan panjang sungai utama +15km. Wilayah sub DAS dibagi menjadi 3 (tiga) bagian, yaitu Sub DAS Karang Mumus Hulu, sub DAS Karang Mumus Tengah, sub DAS Karang Mumus Hilir.

Berdasarkan kajian pada penelitian sebelumnya, Ramadhani (2013) mengelompokkan subsub DAS menjadi 3 bagian, yaitu bagian hulu, tengah dan hilir. Berikut diskripsi dari kelompok subsub DAS tersebut :



(Sumber : Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Kalimantan Timur)

Gambar 4.2 Pembagian Sub sub DAS Karang Mumus

Sub DAS Karang Mumus memiliki luas daerah tangkapan (Catchment Area) seluas 321,6 Km² dengan panjang sungai utama +15km. Wilayah sub DAS dibagi menjadi 3 (tiga) bagian, yaitu Sub DAS Karang Mumus Hulu, sub DAS Karang Mumus Tengah, sub DAS Karang Mumus Hilir.

Berdasarkan kajian pada penelitian sebelumnya, Ramadhani (2013) mengelompokkan subsub DAS menjadi 3 bagian, yaitu bagian hulu, tengah dan hilir. Berikut diskripsi dari kelompok subsub DAS tersebut :

Tabel 4.1 Sub Sub DAS Karang Mumus

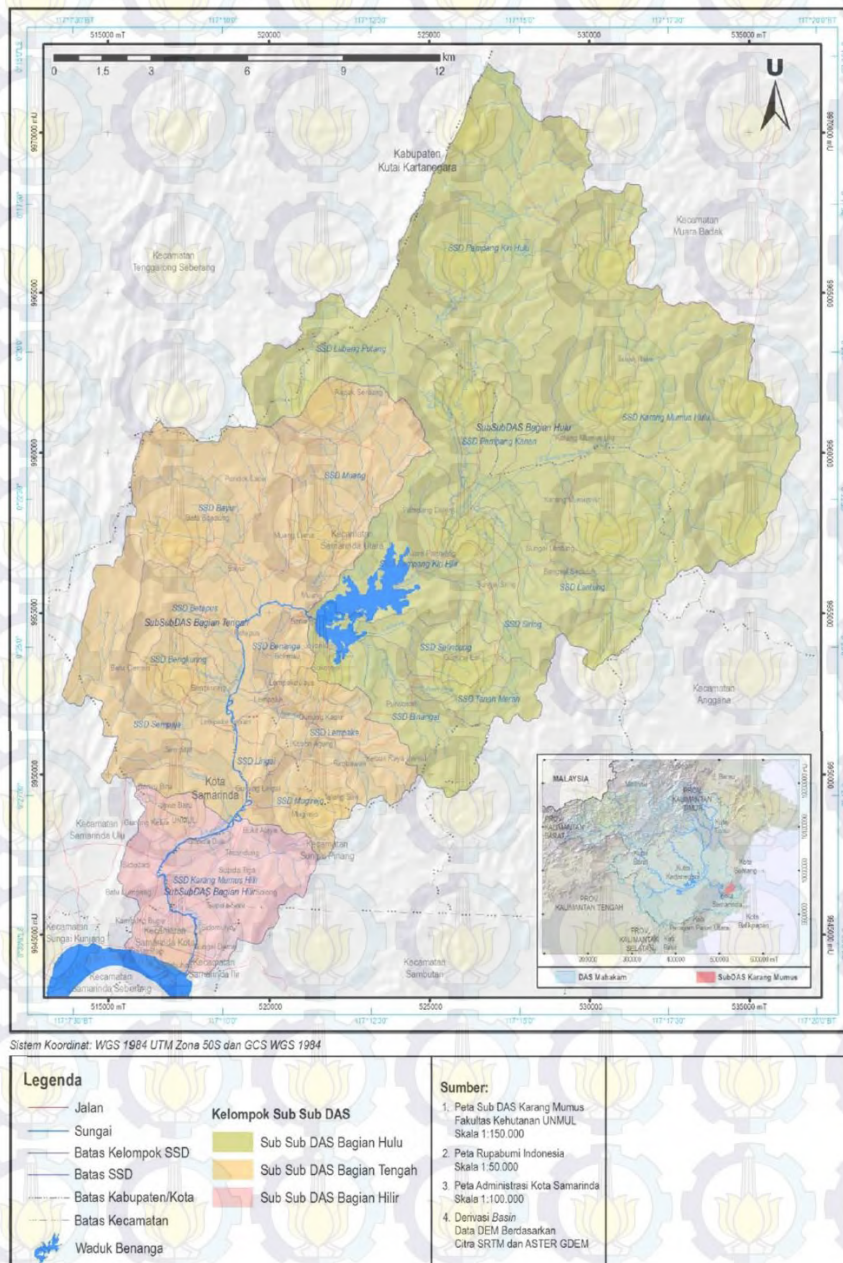
No.	Nama Sub sub DAS	Luas Area		Panjang Sungai (Km)	
		Km ²	%	Utama	Total
Bagian Hulu		190.7	60.31	94.12	282.25
1	SSD Karang Mumus Hulu	69.53	21.99	12.52	97.94
2	SSD Pampang Kiri Hulu	42.29	13.37	21.07	69.96
3	SSD Pampang Kiri Hilir	16.84	5.33	8.79	26.58
4	Pampang Kanan	4.66	1.47	5.13	5.13
5	SSD Lubang Putang	16.00	5.06	11.43	18.07
6	SSD Lantung	12.58	3.98	9.41	20.66
7	SSD Siring	5.62	1.78	6.62	10.72
8	SSD Selindung	5.65	1.79	5.71	10.90
9	SSD Tanah Merah	5.56	1.76	5.68	7.08
10	SSD Binangat	11.99	3.79	7.76	15.22
Bagian Tengah		101.96	32.24	49.00	167.56
11	SSD Muang	19.34	6.12	8.48	34.31
12	SSD Bayur	22.50	7.12	8.00	34.53
13	SSD Benanga	4.85	1.53	3.44	9.42
14	SSD Betapus	9.33	2.95	3.39	9.91
15	SSD Lampake	12.88	4.07	7.58	26.39
16	SSD Bangkuring	4.33	1.37	3.08	7.37
17	SSD Lingai	1.68	0.53	1.54	2.10
18	SSD Mugirejo	6.78	2.14	3.31	8.43
19	SSD Sempaja	20.26	6.41	10.16	25.06
Bagian Hilir		23.56	7.45	6.95	34.84
20	SSD Karang Mumus Hilir	23.56	7.45	6.95	34.84

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Kalimantan Timur

1. Kelompok Sub sub DAS Bagian hulu, dengan luas area 190.70 Km² merupakan daerah tangkapan air hujan. Daerah ini merupakan daerah alami (non perkotaan) dengan tutupan vegetasi yang dominan.
2. Kelompok Sub sub DAS bagian tengah, dengan luas 101,96 Km² merupakan daerah transisi antara perkotaan dan daerah non perkotaan.

Bentuk tutupan lahan cukup bervariasi dari lahan terbangun dan pertanian, hutan serta semak belukar.

3. Kelompok Sub sub DAS bagian hilir, dengan luas 23,56 Km² merupakan daerah perkotaan dengan dominasi lahan terbangun. Daerah dengan sedikit area resapan air, merupakan daerah rawan banjir dan genangan saat terjadi hujan.



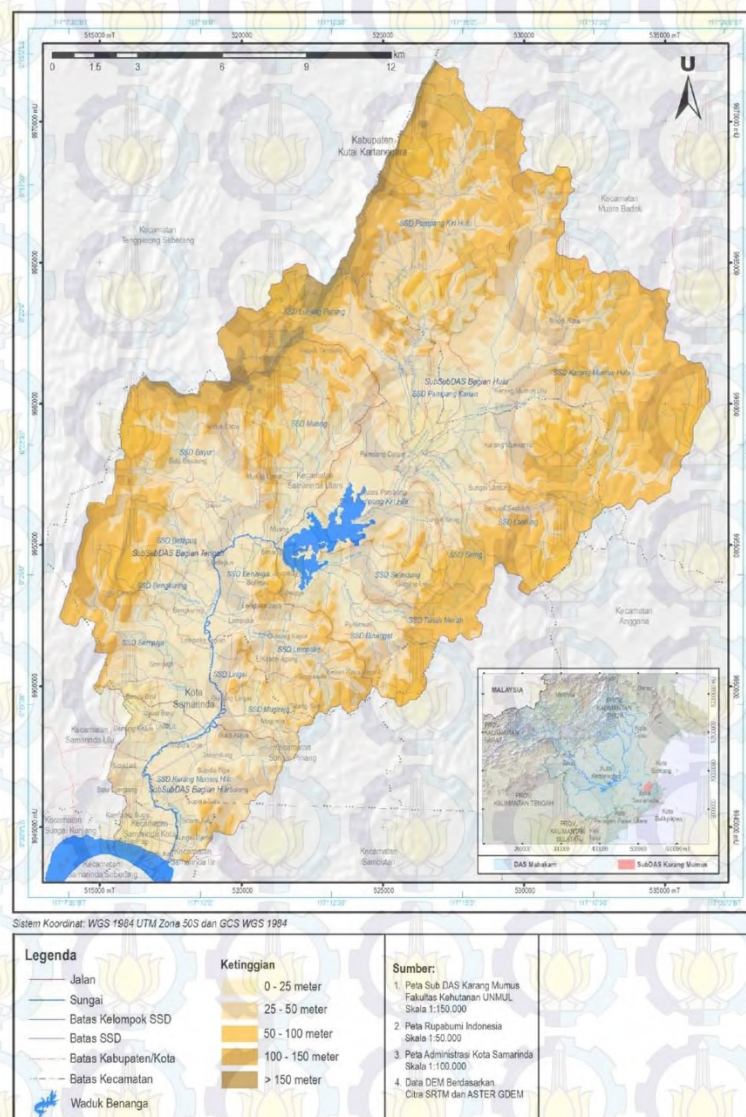
(Sumber : Ramadhani, 2013)

Gambar 4.3 Pembagian Sub sub DAS Karang Mumus

4.2 Tofografi

Secara umum kondisi tofografi Sub DAS Karang Mumus adalah perbukitan dan pada bagian hilir berupa tanah yang datar, disamping itu terdapat daerah rawa seperti pada daerah Pampang Dalam, daerah Gunung Lingai.

Variasi ketinggian pada sub DAS ini berkisar antara 0-225mdpl dan ketinggian rata-rata 45.33mdpl. Berikut proporsi luasan daerah untuk wilayah sub DAS Karang Mumus.



(Sumber : Ramadhani,2013)

Gambar 4.4 Peta Ketinggian pada Sub sub DAS Karang Mumus

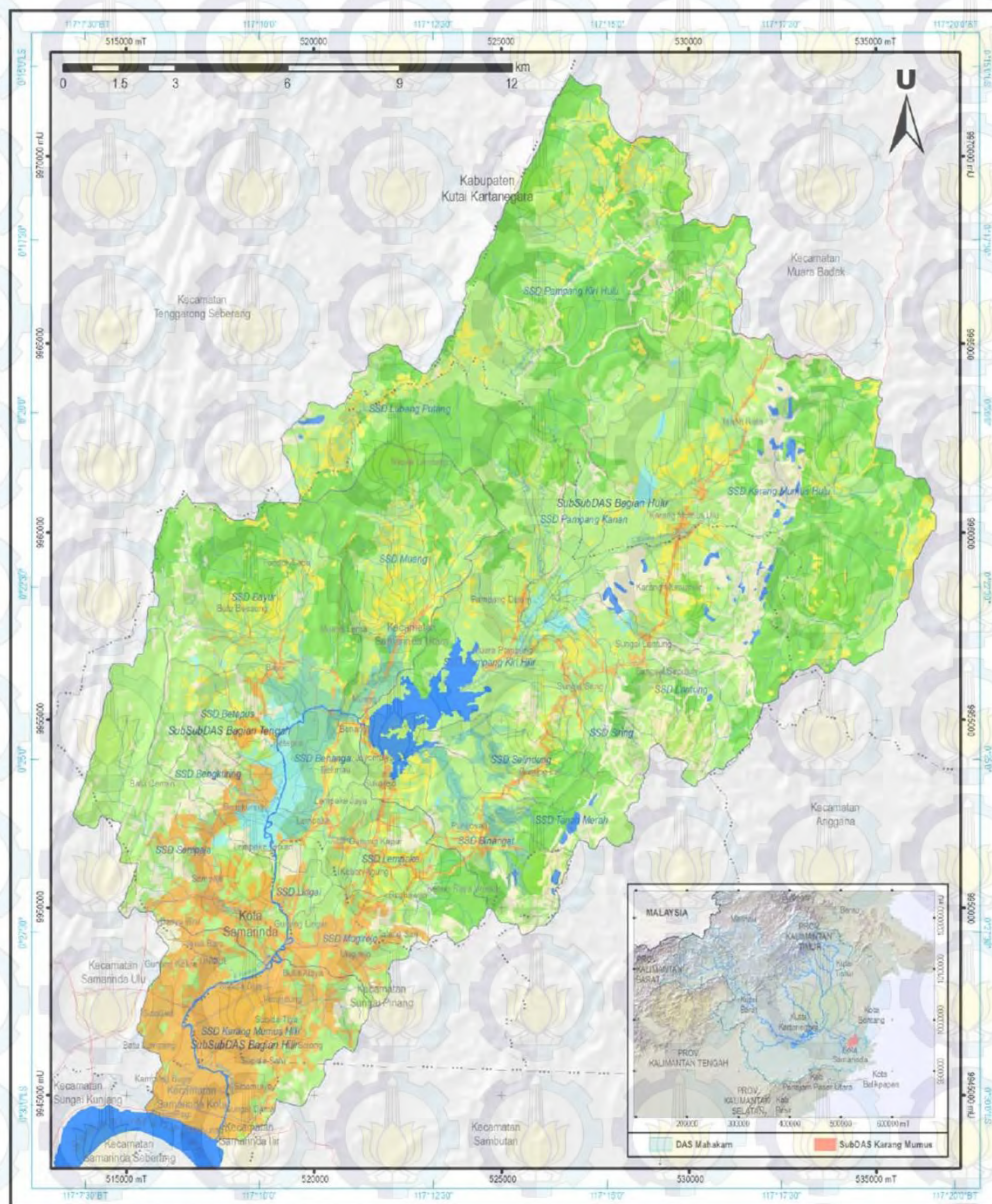
Tabel 4.2 Komposisi Ketinggian Wilayah Sub DAS Karang Mumus

No.	Kelas Ketinggian	Luas Area	
		(Km ²)	%
1	0 – 25 meter	99.64	31.51
2	> 25 – 50 meter	99.02	31.31
3	> 50 – 100 meter	97.64	30.88
4	> 100 – 150 meter	14.47	4.58
5	> 150 meter	5.45	1.72
Total		316.22	100

Sumber : Ramadhani, 2013

4.3 Tutupan Lahan

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ramadhani (2013), tutupan pada Sub DAS Karang Mumus terdiri dari tubuh air, rawa, hutan, semak belukar, pertanian lahan basah, pertanian lahan kering, lahan terbuka dan lahan terbangun. Tutupan lahan tersebut dapat menjelaskan kondisi dari lahan tersebut. Lahan berupa hutan, semak belukar dan rawa menunjukkan kondisi lahan yang masih alami. Lahan tubuh air memiliki penutup air yang dominan, baik alami maupun buatan manusia. Lahan pertanian basah merupakan pertanian dengan tanaman semusim seperti sawah irigasi dan sawah tadah hujan. Lahan pertanian kering merupakan pertanian dengan tanaman tahunan, seperti tegalan, ladang dan kebun campuran. Lahan terbuka merupakan lahan kosong dengan tidak adanya penutup vegetasi (lahan kosong). Lahan terbangun merupakan lahan yang terjadi akibat campur tangan manusia.



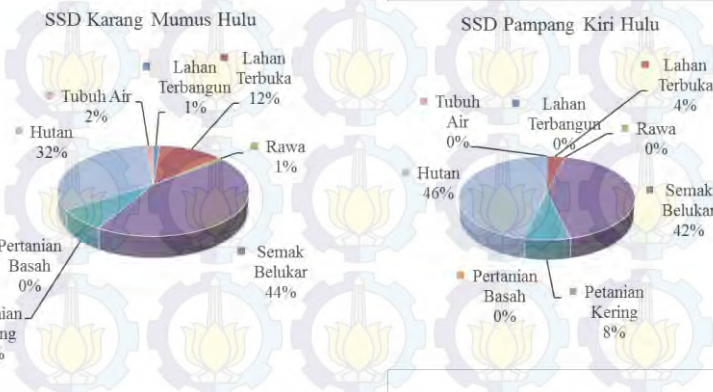
Sistem Koordinat: WGS 1984 UTM Zona 50S dan GCS WGS 1984

Legenda Jalan Sungai Batas Kelompok SSD Batas SSD Batas Kabupaten/Kota Batas Kecamatan Waduk Benanga	Penutupan Lahan Tubuh Air Rawa Hutan Semak Belukar Pertanian Lahan Basah Pertanian Lahan Kering Lahan Terbuka Lahan Terbangun	Sumber: 1. Peta Sub DAS Karang Mumus Fakultas Kehutanan UNMUL Skala 1:150.000 2. Peta Rupabumi Indonesia Skala 1:50.000 3. Peta Administrasi Kota Samarinda Skala 1:100.000 4. Interpretasi Visual Citra Landsat 7 ETM+ perekaman Tahun 2009
--	--	---

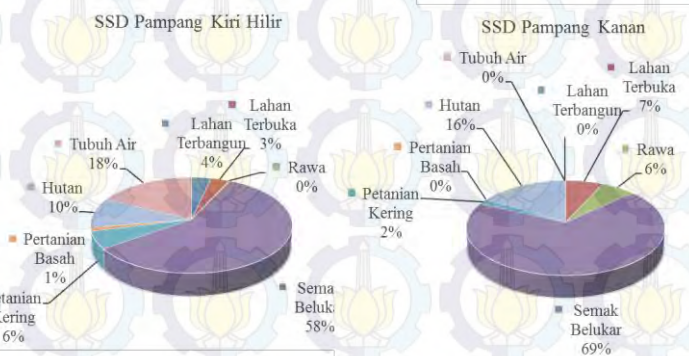
(Sumber : Ramadhani, 2013)

Gambar 4.5 Peta Tutupan Lahan pada Sub sub DAS Karang Mumus

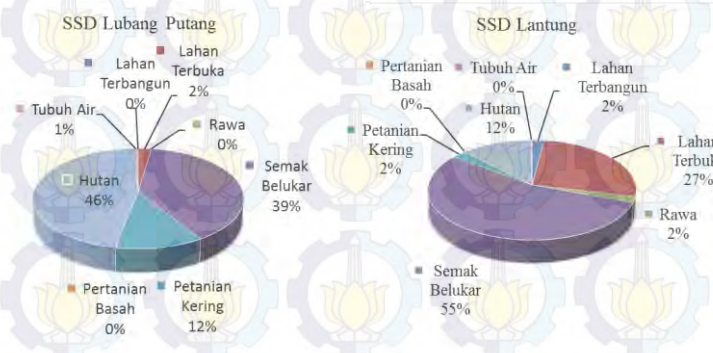
Gambar dibawah ini menunjukkan komposisi tutupan lahan masing-masing Subsub DAS pada Sub DAS Karang Mumus.



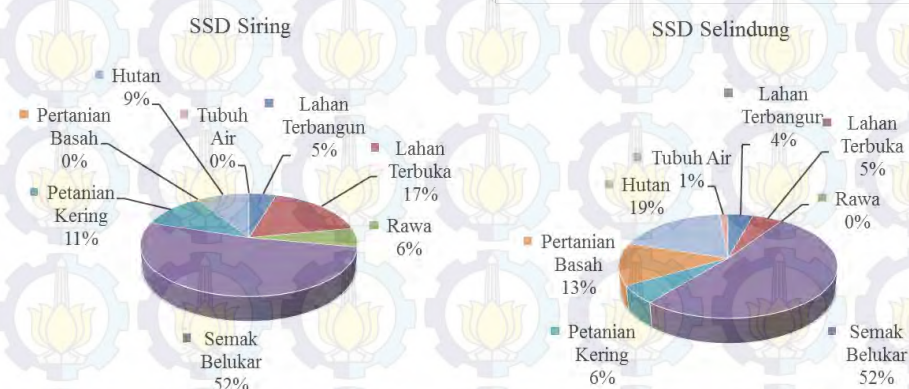
Gambar 4.6 Tutupan Lahan pada SSD Karang Mumus Hulu dan SSD Pampang Kiri Hulu



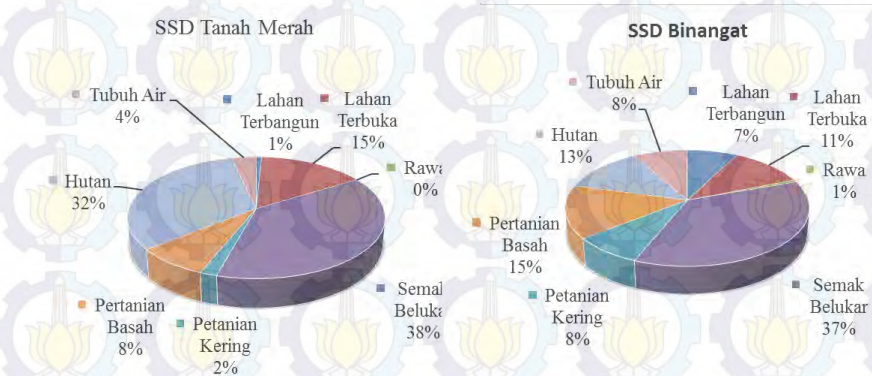
Gambar 4.7 Tutupan Lahan pada SSD Pampang Kiri Hilir dan SSD Pampang Kanan



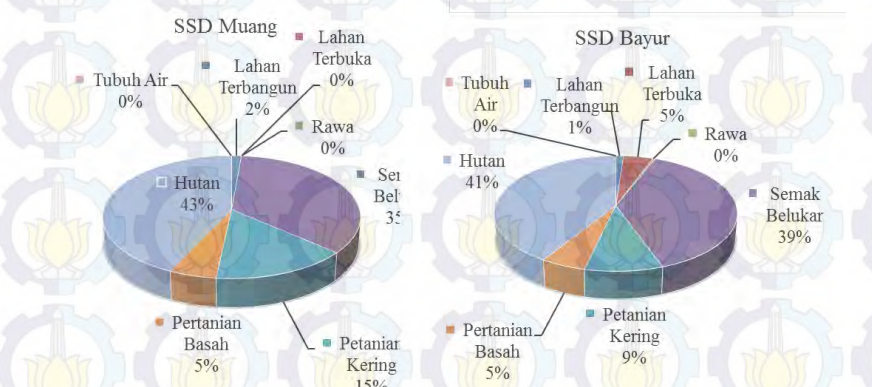
Gambar 4.8 Tutupan Lahan pada SSD Lubang Putang dan SSD Lantung



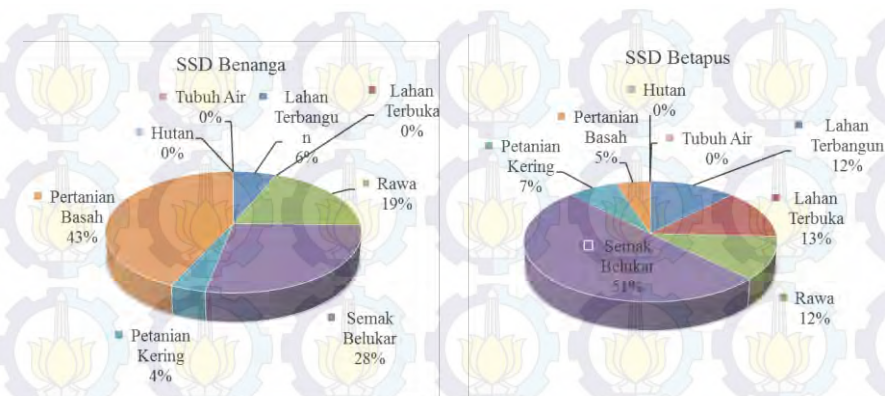
Gambar 4.9 Tutupan Lahan pada SSD Siring dan SSD Selindung



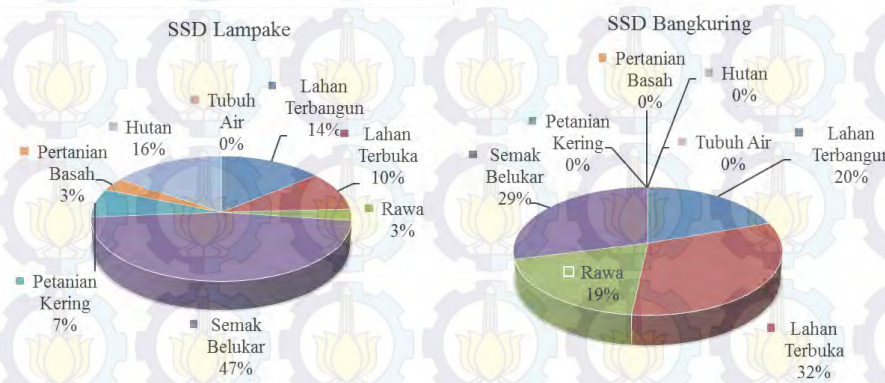
Gambar 4.10 Tutupan Lahan pada SSD Tanah Merah dan SSD Binangat



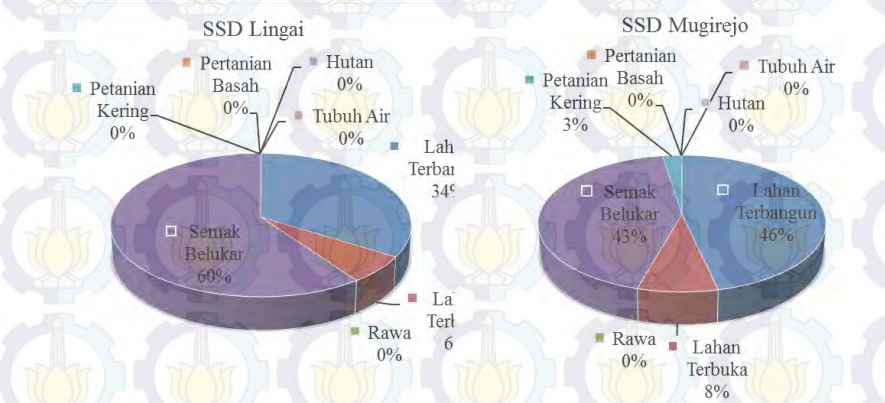
Gambar 4.11 Tutupan Lahan pada SSD Muang dan SSD Bayur



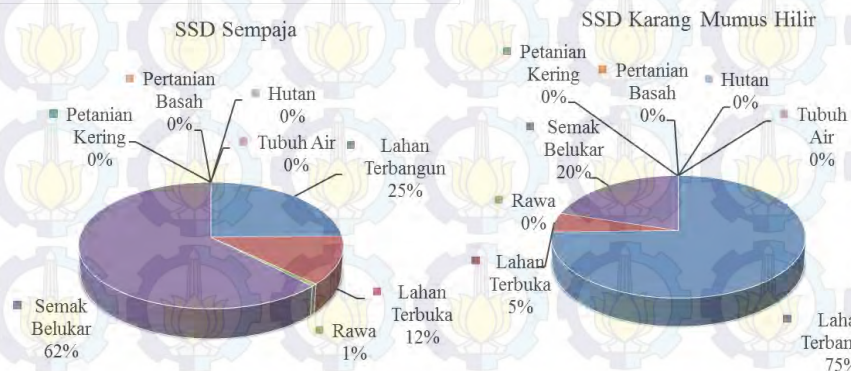
Gambar 4.12 Tutupan Lahan pada SSD Benanga dan SSD Betapus



Gambar 4.13 Tutupan Lahan pada SSD Lempake dan SSD Bangkuring



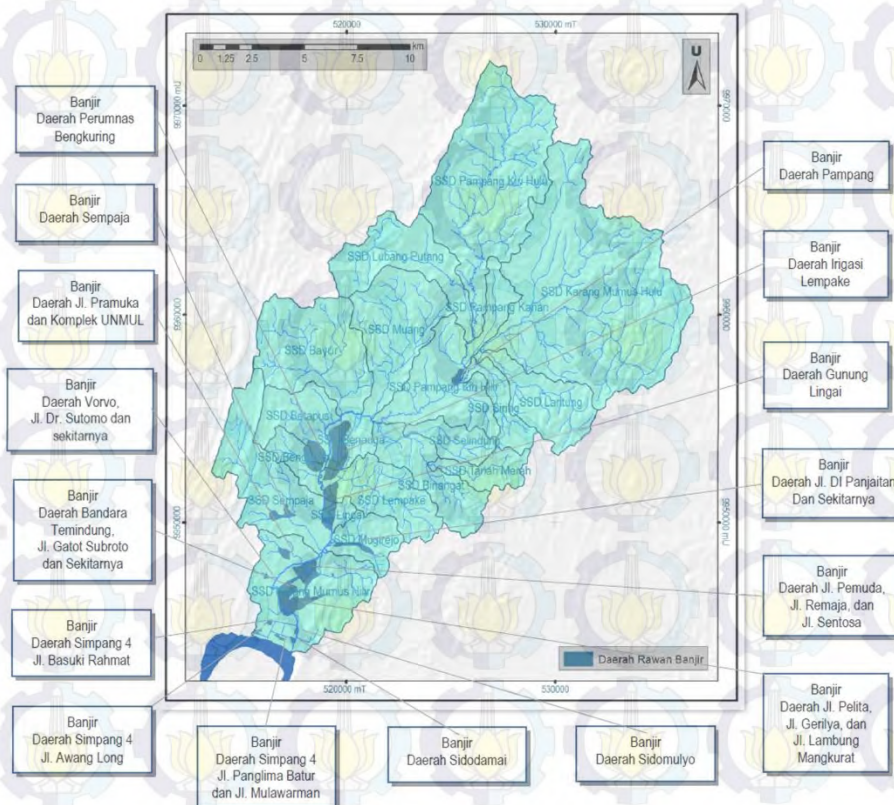
Gambar 4.14 Tutupan Lahan pada SSD Lingai dan SSD Mugirejo



Gambar 4.15 Tutupan Lahan pada SSD Sempaja dan SSD Karang Mumus Hilir

4.4 Kondisi Saat ini

Kondisi yang terjadi saat ini adalah seringkali terjadi banjir di wilayah samarinda dan khusus pada tesis ini, penulis memfokuskan penanganan banjir pada daerah ruas utama Sungai Karang Mumus tepatnya pada bagian setelah outlet Waduk Benanga sampai hilir sungai, yaitu Muara Sungai Karang Mumus.



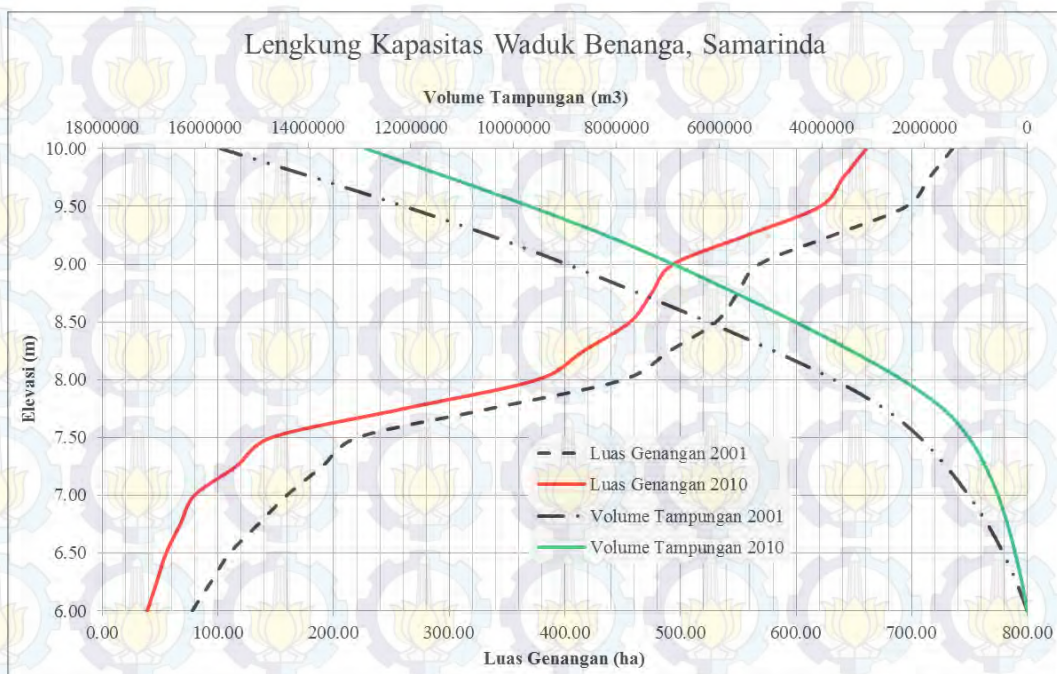
(Sumber : Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Kal-Tim, 2011)

Gambar 4.16 Peta Area Potensi Genangan Banjir pada Sub DAS Karang Mumus

Kondisi sungai Karang Mumus saat ini adalah banyak terjadinya penyempitan-penyempitan penampang sungai yang berpotensi terjadinya banjir akibat kemampuan sungai yang berkurang. Hal ini disebabkan adanya pemukiman-pemukiman yang berada di bantaran sungai dan terjadinya pendangkalan pada dasar sungai.

Untuk mengatasi hal tersebut, pemerintah Kota Samarinda telah melakukan upaya pengendalian banjir dengan membangun Bendungan/Waduk Benanga. Pada awalnya Waduk Benanga digunakan sebagai suplai air Irigasi dan air baku penduduk lokal, namun secara tidak langsung tampungan pada waduk ini memiliki kemampuan untuk mereduksi debit banjir yang masuk kota Samarinda.

Berdasarkan data pengukuran lengkung kapasitas waduk Benanga tahun 2001 dan 2010 yang diperoleh dari BBWS Kalimantan III, diketahui terjadi perubahan kapasitas tampungan, sehingga hal ini perlu ditinjau apakah dengan kondisi tampungan waduk yang berkurang, waduk tersebut masih mampu untuk mereduksi debit banjir yang mengalir.



(Sumber : Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Kal-Tim, 2011)

Gambar 4.17 Peta Area Potensi Genangan Banjir pada Sub DAS Karang Mumus

Selain adanya pengurangan kapasitas waduk, kapasitas sungai dan adanya aliran lateral yang masuk ke ruas sungai utama juga perlu dilakukan peninjauan. Peninjauan dilakukan untuk melihat seberapa besar kemampuan sungai untuk mengalirkan debit yang mengalir dari outlet Waduk dan debit dari aliran-aliran lateral yang masuk ke badan sungai sesuai dengan periode ulang tertentu. Gambar dibawah ini menunjukkan beberapa kondisi pada Sungai Karang Mumus.



(Dokumentasi Pribadi, 2014)

Gambar 4.18 Kondisi eksisting Sungai Karang Mumus (bagian hilir)



(Dokumentasi Pribadi, 2014)

Gambar 4.19 Kondisi eksisting Sungai Karang Mumus (bagian hilir)



(Dokumentasi Penelusuran Sungai Dinas PU Prov. Kaltim, 2014)

Gambar 4.20 Kondisi eksisting Sungai Karang Mumus (bagian hilir)



(Dokumentasi Dinas Bina Marga dan Pengairan Kota Samarinda, 2014)

Gambar 4.21 Banjir Kota Samarinda (bagian hilir)

BAB V

ANALISA

5.1 Analisa Hidrologi

Analisa hidrologi diperlukan dalam perhitungan curah hujan rata-rata dari suatu daerah aliran yang nantinya digunakan untuk mengetahui debit rencana dari masing-masing periode ulang.

Dari beberapa stasiun yang terdapat di daerah sekitar sub DAS Karang Mumus diambil 3 stasiun hujan, yaitu :

1. Sta. Sei Siring (529601 mT, 9959820 mU), berada di jalan utama Kota Samarinda - Kota Bontang, tepat diperbatasan Kota Samarinda dan Kab. Kutai Kartanegara. 529601, 9959820
2. Sta. Pampang (525233 mT, 9956687 mU), berada di daerah Pampang, tepi sungai utama Karang Mumus.
3. Sta. Tanah Merah (525233 mT, 9951816 mU), berada di daerah Tanah Merah, dekat jalan Utama Kota Samarinda – Kota Bontang.

5.1.1 Curah Hujan Rencana

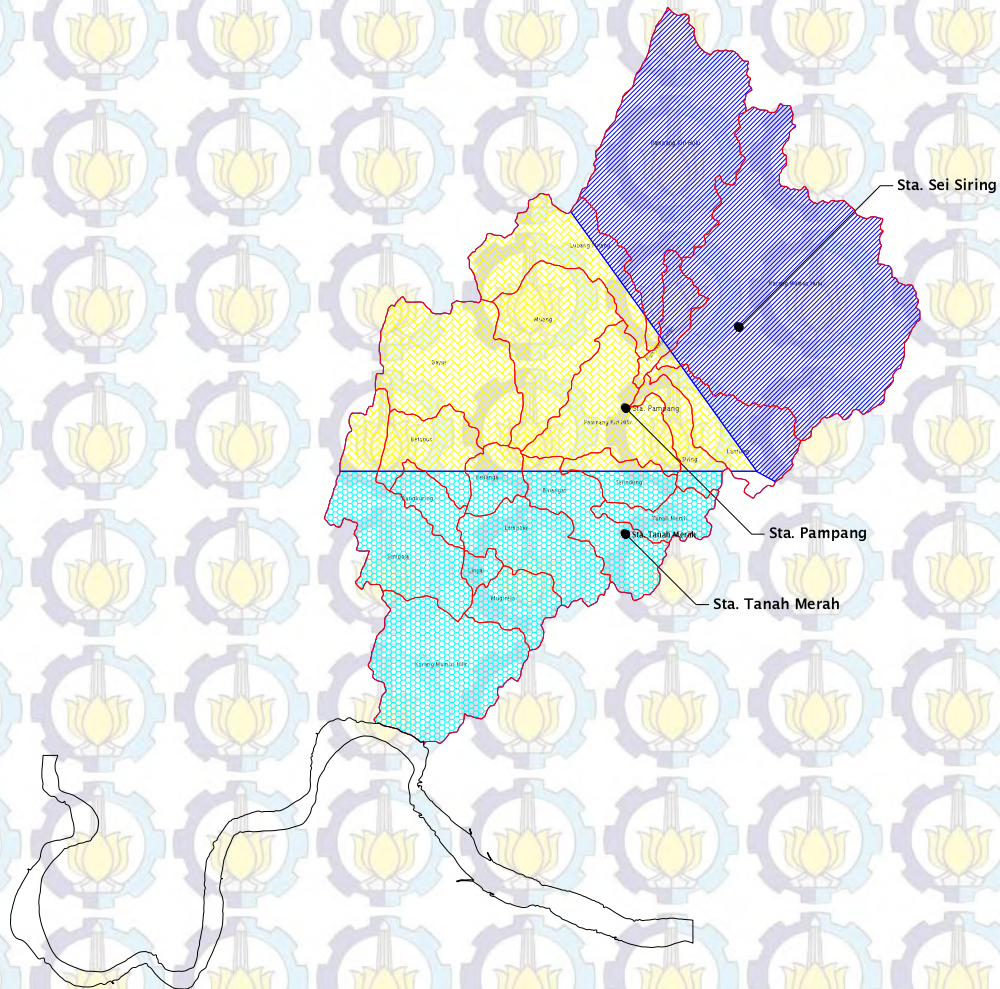
5.1.1.1 Analisa Koefisien Thiessen (C_i)

Perhitungan curah hujan maksimum rata-rata ditentukan pada masing-masing tahun selama 10 tahun (2004-2013). Karena terdapat 3 stasiun hujan, maka terdapat 3 curah hujan harian maksimum rata-rata pada setiap tahun. Pada perhitungan kali ini, digunakan metode Thiessen Polygon. Adapun cara perhitungan metode Thiessen Polygon adalah sebagai berikut :

1. Menghubungkan masing-masing stasiun hujan dengan garis poligon
2. Membuat garis berat antara 2 stasiun hujan hingga bertemu dengan garis besar lainnya pada suatu titik dalam poligon.
3. Luas area yang mewakili masing-masing stasiun hujan dibatasi oleh garis berat pada poligon.

4. Luas sub area masing-masing stasiun hujan dipakai sebagai faktor pemberat dalam perhitungan hujan rata-rata.

Adapun hasil pembuatan poligon pada sub DAS Karang Mumus adalah sebagai berikut :



Gambar 5.1 Pembagian wilayah berdasarkan Poligon Thiessen

Berdasarkan pembagian wilayah poligon Thiessen, maka diperoleh koefisien Thiessen masing-masing sub sub DAS sebagai berikut :

Tabel 5.1 Nilai Koefisien Thiessen Sub Sub DAS Karang Mumus

No.	Nama Sub Sub DAS	Luas Sub Sub DAS	Nilai Koefisien Thiessen (Ci)					
			Area (km ²)	Ci	Area (km ²)	Ci	Area (km ²)	Ci
1	SSD Karang Mumus Hulu	69.53	69.162	0.995	0.364	0.005	0.000	0.000
2	SSD Pampang Kiri Hulu	42.29	41.845	0.989	0.443	0.010	0.000	0.000
3	SSD Pampang Kiri Hilir	16.84	0.081	0.005	16.758	0.995	0.000	0.000
4	SSD Pampang Kanan	4.66	3.715	0.797	0.941	0.202	0.000	0.000
5	SSD Lubang Putang	16	2.764	0.173	13.240	0.828	0.000	0.000
6	SSD Lantung	12.58	7.146	0.568	4.568	0.363	0.862	0.069
7	SSD Siring	5.62	0	0.000	4.298	0.765	1.318	0.235
8	SSD Selindung	5.65	0.000	0.000	1.900	0.336	3.745	0.663
9	SSD Tanah Merah	5.56	0.000	0.000	0.000	0.000	5.560	1.000
10	SSD Binangat	11.99	0.000	0.000	0.851	0.071	11.139	0.929
11	SSD Muang	19.34	0.000	0.000	19.341	1.000	0.000	0.000
12	SSD Bayur	22.5	0.000	0.000	22.500	1.000	0.000	0.000
13	SSD Benanga	4.85	0.000	0.000	1.855	0.382	2.999	0.618
14	SSD Betapus	9.33	0.000	0.000	7.459	0.799	1.874	0.201
15	SSD Lampake	12.88	0.000	0.000	0.000	0.000	12.884	1.000
16	SSD Bangkuring	4.33	0.000	0.000	0.202	0.047	4.124	0.952
17	SSD Lingai	1.68	0.000	0.000	0.000	0.000	1.680	1.000
18	SSD Mugirejo	6.78	0.000	0.000	0.000	0.000	6.777	1.000
19	SSD Sempaja	20.26	0.000	0.000	3.968	0.196	16.294	0.804
20	SSD Karang Mumus Hilir	23.56	0.000	0.000	0.000	0.000	23.559	1.000
Sumber : Hasil Analisa (2014)								

5.1.1.2 Analisis Curah Hujan Maksimum Harian Rata-rata

Analisis curah hujan maksimum harian rata-rata dilakukan secara parsial terhadap masing-masing sub sub DAS, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel-tabel dibawah ini :

Tabel 5.2 Curah Hujan Maksimum Harian Sta. Pampang

Stasiun Hujan Pampang													
No.	Tahun	Bulan											
		Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1	2004	22	21	51	71	74	33	39	0	51	9	60	60
2	2005	59	31	72	41	71	39	77	71.5	74.4	76	76	69
3	2006	49.5	74.6	73.8	38.3	41.1	25.5	24	21	30	10.7	75	57
4	2007	49.8	49.8	60.6	36.2	28.3	78	52.5	16.5	40.2	45.5	78.5	52
5	2008	69.1	58.3	72	37.3	24.5	78.5	35.5	15	10.5	85	71	30
6	2009	30.3	62.3	77.4	80	39.7	39.7	50.8	62.5	29.5	77	80	21.3
7	2010	57.7	36	25	73	54.7	37.7	72.2	49.9	76.8	81.8	49.2	17.3

Stasiun Hujan Pampang													
No.	Tahun	Bulan											
		Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
8	2011	25.7	31.3	23.3	96.4	88.8	51.7	73.9	8.8	34.7	27.7	84.4	52.2
9	2012	50.2	60.2	50.2	73.6	76	77.2	75.9	12.8	74.3	42.5	30.2	30.2
10	2013	75.3	57.6	78.2	76.7	96.1	83.1	81.3	15.4	61.4	41.9	78.2	54.8
Sumber : Hasil Analisa (2014)													

Tabel 5.3 Curah Hujan Maksimum Harian Sta. Sei Siring

Stasiun Hujan Sei Siring													
No	Tahun	Bulan											
		Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1	2004	0	0	0	0	83	56	28	43	45	50	40	96
2	2005	81	69	57	70	62	50	36.7	59.6	50.7	46	47.1	51.6
3	2006	65.5	29.2	99.5	50.7	68.1	46.5	25	12	25	36.9	86.4	58.6
4	2007	65.9	64.5	42.7	56.5	86.1	66.7	50.5	46.9	49.6	70.5	86.7	56.3
5	2008	58.1	65.9	61.7	86	18	76.8	61	46.7	42.6	76.5	82.4	60.9
6	2009	42.1	57.5	65.2	91	43	30.4	46	80.1	21.6	42	74.5	22.5
7	2010	22.5	46.2	54.4	53	24	49	61.7	24.7	36.5	74.5	46.6	82.3
8	2011	93.4	29	41.9	86.6	41.2	39.2	40.3	18.2	30	33.7	92.8	45.3
9	2012	24.6	42.4	50.8	51.6	45.6	51.4	15.1	24.5	20	53.9	53.6	41.6
10	2013	81.5	44.2	93.5	50.7	128.5	44	43.5	16.5	25	84	65	58
Sumber : Hasil Analisa (2014)													

Tabel 5.4 Curah Hujan Maksimum Harian Sta. Tanah Merah

Stasiun Hujan Tanah Merah													
No	Tahun	Bulan											
		Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1	2004	0	0	0	0	83	56	28	43	45	50	40	96
2	2005	81	69	57	70	62	50	36.7	59.6	50.7	46	47.1	51.6
3	2006	65.5	29.2	99.5	50.7	68.1	46.5	25	12	25	36.9	86.4	58.6
4	2007	65.9	64.5	42.7	56.5	86.1	66.7	50.5	46.9	49.6	70.5	86.7	56.3
5	2008	58.1	65.9	61.7	86	18	76.8	61	46.7	42.6	76.5	82.4	60.9
6	2009	42.1	57.5	65.2	91	43	30.4	46	80.1	21.6	42	74.5	22.5
7	2010	22.5	46.2	54.4	53	24	49	61.7	24.7	36.5	74.5	46.6	82.3
8	2011	93.4	29	41.9	86.6	41.2	39.2	40.3	18.2	30	33.7	92.8	45.3
9	2012	24.6	42.4	50.8	51.6	45.6	51.4	15.1	24.5	20	53.9	53.6	41.6
10	2013	81.5	44.2	93.5	50.7	128.5	44	43.5	16.5	25	84	65	58
Sumber : Hasil Analisa (2014)													

Tabel 5.5 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Karang Mumus Hulu

SSD Karang Mumus Hulu									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 69.53 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.995	74.00	0.005	91.00	0.000	0.39	95.49
2	3 Des ,04	96.00	0.995	0.00	0.005	0.00	0.000	95.49	
3	12 April ,04	0.00	0.995	0.00	0.005	112.00	0.000	0.00	
4	7 Juli ,05	36.70	0.995	77.00	0.005	31.50	0.000	36.91	80.57
5	28 Jan ,05	81.00	0.995	0.00	0.005	14.00	0.000	80.57	
6	3 Okt ,05	28.00	0.995	68.00	0.005	118.90	0.000	28.21	
7	4 Nop ,06	14.00	0.995	75.00	0.005	14.00	0.000	14.32	99.36
8	25 Maret ,06	99.50	0.995	74.00	0.005	15.00	0.000	99.36	
9	24 Maret ,06	0.00	0.995	0.00	0.005	71.10	0.000	0.00	
10	6 Nop ,07	10.00	0.995	78.50	0.005	57.00	0.000	10.36	86.66
11	10 Nop ,07	86.70	0.995	79.00	0.005	61.00	0.000	86.66	
12	11 Mei ,07	86.00	0.995	0.00	0.005	100.10	0.000	85.55	
13	10 Okt ,08	47.50	0.995	85.00	0.005	0.00	0.000	47.69	85.72
14	22 April ,08	86.00	0.995	33.50	0.005	0.90	0.000	85.72	
15	4 Juni ,08	0.80	0.995	3.00	0.005	63.90	0.000	0.81	
16	28 Nop ,09	52.60	0.995	80.00	0.005	11.80	0.000	52.74	90.52
17	16 April ,09	91.00	0.995	0.00	0.005	48.50	0.000	90.52	
18	24 Okt ,09	20.60	0.995	52.00	0.005	53.90	0.000	20.76	
19	28 Okt ,10	59.60	0.995	81.80	0.005	7.00	0.000	59.71	81.86
20	17 Des ,10	82.30	0.995	0.00	0.005	0.00	0.000	81.86	
21	31 Maret ,10	12.00	0.995	0.00	0.005	90.30	0.000	11.94	
22	24 April ,11	6.30	0.995	96.40	0.005	2.50	0.000	6.77	92.91
23	5 Jan ,11	93.40	0.995	0.00	0.005	14.70	0.000	92.91	
24	31 Maret ,11	0.00	0.995	0.00	0.005	90.30	0.000	0.00	
25	10 Juni ,12	0.20	0.995	77.20	0.005	8.00	0.000	0.60	53.37
26	24 Okt ,12	53.60	0.995	10.00	0.005	1.00	0.000	53.37	
27	6 Juli ,12	15.10	0.995	11.10	0.005	67.50	0.000	15.08	
28	3 Mei ,13	0.00	0.995	96.10	0.005	0.50	0.000	0.50	127.82
29	18 Mei ,13	128.50	0.995	0.00	0.005	2.50	0.000	127.82	
30	19 Sept ,13	0.00	0.995	0.00	0.005	115.70	0.000	0.00	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.6 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Pampang Kiri Hulu

SSD Pampang Kiri Hulu									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 42.29 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.989	74.00	0.010	91.00	0.000	0.78	94.99
2	3 Des ,04	96.00	0.989	0.00	0.010	0.00	0.000	94.99	
3	12 April ,04	0.00	0.989	0.00	0.010	112.00	0.000	0.00	
4	7 Juli ,05	36.70	0.989	77.00	0.010	31.50	0.000	37.12	80.15
5	28 Jan ,05	81.00	0.989	0.00	0.010	14.00	0.000	80.15	

SSD Pampang Kiri Hulu									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
6	3 Okt ,05	28.00	0.989	68.00	0.010	118.90	0.000	28.42	99.23
7	4 Nop ,06	14.00	0.989	75.00	0.010	14.00	0.000	14.64	
8	25 Maret ,06	99.50	0.989	74.00	0.010	15.00	0.000	99.23	
9	24 Maret ,06	0.00	0.989	0.00	0.010	71.10	0.000	0.00	
10	6 Nop ,07	10.00	0.989	78.50	0.010	57.00	0.000	10.72	86.62
11	10 Nop ,07	86.70	0.989	79.00	0.010	61.00	0.000	86.62	
12	11 Mei ,07	86.00	0.989	0.00	0.010	100.10	0.000	85.10	
13	10 Okt ,08	47.50	0.989	85.00	0.010	0.00	0.000	47.89	
14	22 April ,08	86.00	0.989	33.50	0.010	0.90	0.000	85.45	85.45
15	4 Juni ,08	0.80	0.989	3.00	0.010	63.90	0.000	0.82	
16	28 Nop ,09	52.60	0.989	80.00	0.010	11.80	0.000	52.88	
17	16 April ,09	91.00	0.989	0.00	0.010	48.50	0.000	90.04	
18	24 Okt ,09	20.60	0.989	52.00	0.010	53.90	0.000	20.93	90.04
19	28 Okt ,10	59.60	0.989	81.80	0.010	7.00	0.000	59.83	
20	17 Des ,10	82.30	0.989	0.00	0.010	0.00	0.000	81.43	
21	31 Maret ,10	12.00	0.989	0.00	0.010	90.30	0.000	11.87	
22	24 April ,11	6.30	0.989	96.40	0.010	2.50	0.000	7.24	92.42
23	5 Jan ,11	93.40	0.989	0.00	0.010	14.70	0.000	92.42	
24	31 Maret ,11	0.00	0.989	0.00	0.010	90.30	0.000	0.00	
25	10 Juni ,12	0.20	0.989	77.20	0.010	8.00	0.000	1.01	
26	24 Okt ,12	53.60	0.989	10.00	0.010	1.00	0.000	53.14	53.14
27	6 Juli ,12	15.10	0.989	11.10	0.010	67.50	0.000	15.06	
28	3 Mei ,13	0.00	0.989	96.10	0.010	0.50	0.000	1.01	
29	18 Mei ,13	128.50	0.989	0.00	0.010	2.50	0.000	127.15	
30	19 Sept ,13	0.00	0.989	0.00	0.010	115.70	0.000	0.00	127.15
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.7 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Pampang Kiri Hilir

SSD Pampang Kiri Hilir									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata- rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 16.84 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.005	74.00	0.995	91.00	0.000	73.64	73.64
2	3 Des ,04	96.00	0.005	0.00	0.995	0.00	0.000	0.46	
3	12 April ,04	0.00	0.005	0.00	0.995	112.00	0.000	0.00	
4	7 Juli ,05	36.70	0.005	77.00	0.995	31.50	0.000	76.80	76.80
5	28 Jan ,05	81.00	0.005	0.00	0.995	14.00	0.000	0.39	
6	3 Okt ,05	28.00	0.005	68.00	0.995	118.90	0.000	67.80	
7	4 Nop ,06	14.00	0.005	75.00	0.995	14.00	0.000	74.70	74.70
8	25 Maret ,06	99.50	0.005	74.00	0.995	15.00	0.000	74.12	
9	24 Maret ,06	0.00	0.005	0.00	0.995	71.10	0.000	0.00	
10	6 Nop ,07	10.00	0.005	78.50	0.995	57.00	0.000	78.17	79.03
11	10 Nop ,07	86.70	0.005	79.00	0.995	61.00	0.000	79.03	
12	11 Mei ,07	86.00	0.005	0.00	0.995	100.10	0.000	0.41	
13	10 Okt ,08	47.50	0.005	85.00	0.995	0.00	0.000	84.82	84.82
14	22 April ,08	86.00	0.005	33.50	0.995	0.90	0.000	33.75	
15	4 Juni ,08	0.80	0.005	3.00	0.995	63.90	0.000	2.99	

SSD Pampang Kiri Hilir									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata- rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
16	28 Nop ,09	52.60	0.005	80.00	0.995	11.80	0.000	79.86	79.86
17	16 April ,09	91.00	0.005	0.00	0.995	48.50	0.000	0.44	
18	24 Okt ,09	20.60	0.005	52.00	0.995	53.90	0.000	51.85	
19	28 Okt ,10	59.60	0.005	81.80	0.995	7.00	0.000	81.69	81.69
20	17 Des ,10	82.30	0.005	0.00	0.995	0.00	0.000	0.39	
21	31 Maret ,10	12.00	0.005	0.00	0.995	90.30	0.000	0.06	
22	24 April ,11	6.30	0.005	96.40	0.995	2.50	0.000	95.96	95.96
23	5 Jan ,11	93.40	0.005	0.00	0.995	14.70	0.000	0.45	
24	31 Maret ,11	0.00	0.005	0.00	0.995	90.30	0.000	0.00	
25	10 Juni ,12	0.20	0.005	77.20	0.995	8.00	0.000	76.83	76.83
26	24 Okt ,12	53.60	0.005	10.00	0.995	1.00	0.000	10.21	
27	6 Juli ,12	15.10	0.005	11.10	0.995	67.50	0.000	11.12	
28	3 Mei ,13	0.00	0.005	96.10	0.995	0.50	0.000	95.63	95.63
29	18 Mei ,13	128.50	0.005	0.00	0.995	2.50	0.000	0.62	
30	19 Sept ,13	0.00	0.005	0.00	0.995	115.70	0.000	0.00	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.8 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Pampang Kanan

SSD Pampang Kanan									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 4.66 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.797	74.00	0.202	91.00	0.000	14.95	76.54
2	3 Des ,04	96.00	0.797	0.00	0.202	0.00	0.000	76.54	
3	12 April ,04	0.00	0.797	0.00	0.202	112.00	0.000	0.00	
4	7 Juli ,05	36.70	0.797	77.00	0.202	31.50	0.000	44.82	64.58
5	28 Jan ,05	81.00	0.797	0.00	0.202	14.00	0.000	64.58	
6	3 Okt ,05	28.00	0.797	68.00	0.202	118.90	0.000	36.06	
7	4 Nop ,06	14.00	0.797	75.00	0.202	14.00	0.000	26.31	94.28
8	25 Maret ,06	99.50	0.797	74.00	0.202	15.00	0.000	94.28	
9	24 Maret ,06	0.00	0.797	0.00	0.202	71.10	0.000	0.00	
10	6 Nop ,07	10.00	0.797	78.50	0.202	57.00	0.000	23.83	85.08
11	10 Nop ,07	86.70	0.797	79.00	0.202	61.00	0.000	85.08	
12	11 Mei ,07	86.00	0.797	0.00	0.202	100.10	0.000	68.57	
13	10 Okt ,08	47.50	0.797	85.00	0.202	0.00	0.000	55.04	75.33
14	22 April ,08	86.00	0.797	33.50	0.202	0.90	0.000	75.33	
15	4 Juni ,08	0.80	0.797	3.00	0.202	63.90	0.000	1.24	
16	28 Nop ,09	52.60	0.797	80.00	0.202	11.80	0.000	58.10	72.55
17	16 April ,09	91.00	0.797	0.00	0.202	48.50	0.000	72.55	
18	24 Okt ,09	20.60	0.797	52.00	0.202	53.90	0.000	26.93	
19	28 Okt ,10	59.60	0.797	81.80	0.202	7.00	0.000	64.04	65.62
20	17 Des ,10	82.30	0.797	0.00	0.202	0.00	0.000	65.62	
21	31 Maret ,10	12.00	0.797	0.00	0.202	90.30	0.000	9.57	
22	24 April ,11	6.30	0.797	96.40	0.202	2.50	0.000	24.50	74.47
23	5 Jan ,11	93.40	0.797	0.00	0.202	14.70	0.000	74.47	
24	31 Maret ,11	0.00	0.797	0.00	0.202	90.30	0.000	0.00	
25	10 Juni ,12	0.20	0.797	77.20	0.202	8.00	0.000	15.76	44.75

SSD Pampang Kanan									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
26	24 Okt ,12	53.60	0.797	10.00	0.202	1.00	0.000	44.75	102.45
27	6 Juli ,12	15.10	0.797	11.10	0.202	67.50	0.000	14.28	
28	3 Mei ,13	0.00	0.797	96.10	0.202	0.50	0.000	19.41	
29	18 Mei ,13	128.50	0.797	0.00	0.202	2.50	0.000	102.45	
30	19 Sept ,13	0.00	0.797	0.00	0.202	115.70	0.000	0.00	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.9 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Lubang Patung

SSD Lubang Patung									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 16 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.173	74.00	0.828	91.00	0.000	61.24	61.24
2	3 Des ,04	96.00	0.173	0.00	0.828	0.00	0.000	16.58	
3	12 April ,04	0.00	0.173	0.00	0.828	112.00	0.000	0.00	
4	7 Juli ,05	36.70	0.173	77.00	0.828	31.50	0.000	70.06	70.06
5	28 Jan ,05	81.00	0.173	0.00	0.828	14.00	0.000	13.99	
6	3 Okt ,05	28.00	0.173	68.00	0.828	118.90	0.000	61.11	
7	4 Nop ,06	14.00	0.173	75.00	0.828	14.00	0.000	64.48	78.43
8	25 Maret ,06	99.50	0.173	74.00	0.828	15.00	0.000	78.43	
9	24 Maret ,06	0.00	0.173	0.00	0.828	71.10	0.000	0.00	
10	6 Nop ,07	10.00	0.173	78.50	0.828	57.00	0.000	66.69	80.35
11	10 Nop ,07	86.70	0.173	79.00	0.828	61.00	0.000	80.35	
12	11 Mei ,07	86.00	0.173	0.00	0.828	100.10	0.000	14.86	
13	10 Okt ,08	47.50	0.173	85.00	0.828	0.00	0.000	78.55	78.55
14	22 April ,08	86.00	0.173	33.50	0.828	0.90	0.000	42.58	
15	4 Juni ,08	0.80	0.173	3.00	0.828	63.90	0.000	2.62	
16	28 Nop ,09	52.60	0.173	80.00	0.828	11.80	0.000	75.29	75.29
17	16 April ,09	91.00	0.173	0.00	0.828	48.50	0.000	15.72	
18	24 Okt ,09	20.60	0.173	52.00	0.828	53.90	0.000	46.59	
19	28 Okt ,10	59.60	0.173	81.80	0.828	7.00	0.000	77.99	77.99
20	17 Des ,10	82.30	0.173	0.00	0.828	0.00	0.000	14.22	
21	31 Maret ,10	12.00	0.173	0.00	0.828	90.30	0.000	2.07	
22	24 April ,11	6.30	0.173	96.40	0.828	2.50	0.000	80.86	80.86
23	5 Jan ,11	93.40	0.173	0.00	0.828	14.70	0.000	16.14	
24	31 Maret ,11	0.00	0.173	0.00	0.828	90.30	0.000	0.00	
25	10 Juni ,12	0.20	0.173	77.20	0.828	8.00	0.000	63.92	63.92
26	24 Okt ,12	53.60	0.173	10.00	0.828	1.00	0.000	17.53	
27	6 Juli ,12	15.10	0.173	11.10	0.828	67.50	0.000	11.79	
28	3 Mei ,13	0.00	0.173	96.10	0.828	0.50	0.000	79.52	79.52
29	18 Mei ,13	128.50	0.173	0.00	0.828	2.50	0.000	22.20	
30	19 Sept ,13	0.00	0.173	0.00	0.828	115.70	0.000	0.00	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.10 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Lantung

SSD Lantung									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 12.58 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.568	74.00	0.363	91.00	0.069	33.11	54.53
2	3 Des ,04	96.00	0.568	0.00	0.363	0.00	0.069	54.53	
3	12 April ,04	0.00	0.568	0.00	0.363	112.00	0.069	7.68	
4	7 Juli ,05	36.70	0.568	77.00	0.363	31.50	0.069	50.97	50.97
5	28 Jan ,05	81.00	0.568	0.00	0.363	14.00	0.069	46.97	
6	3 Okt ,05	28.00	0.568	68.00	0.363	118.90	0.069	48.75	
7	4 Nop ,06	14.00	0.568	75.00	0.363	14.00	0.069	36.15	84.42
8	25 Maret ,06	99.50	0.568	74.00	0.363	15.00	0.069	84.42	
9	24 Maret ,06	0.00	0.568	0.00	0.363	71.10	0.069	4.87	
10	6 Nop ,07	10.00	0.568	78.50	0.363	57.00	0.069	38.09	82.12
11	10 Nop ,07	86.70	0.568	79.00	0.363	61.00	0.069	82.12	
12	11 Mei ,07	86.00	0.568	0.00	0.363	100.10	0.069	55.71	
13	10 Okt ,08	47.50	0.568	85.00	0.363	0.00	0.069	57.85	61.08
14	22 April ,08	86.00	0.568	33.50	0.363	0.90	0.069	61.08	
15	4 Juni ,08	0.80	0.568	3.00	0.363	63.90	0.069	5.92	
16	28 Nop ,09	52.60	0.568	80.00	0.363	11.80	0.069	59.74	59.74
17	16 April ,09	91.00	0.568	0.00	0.363	48.50	0.069	55.02	
18	24 Okt ,09	20.60	0.568	52.00	0.363	53.90	0.069	34.28	
19	28 Okt ,10	59.60	0.568	81.80	0.363	7.00	0.069	64.04	64.04
20	17 Des ,10	82.30	0.568	0.00	0.363	0.00	0.069	46.75	
21	31 Maret ,10	12.00	0.568	0.00	0.363	90.30	0.069	13.01	
22	24 April ,11	6.30	0.568	96.40	0.363	2.50	0.069	38.75	54.06
23	5 Jan ,11	93.40	0.568	0.00	0.363	14.70	0.069	54.06	
24	31 Maret ,11	0.00	0.568	0.00	0.363	90.30	0.069	6.19	
25	10 Juni ,12	0.20	0.568	77.20	0.363	8.00	0.069	28.69	34.15
26	24 Okt ,12	53.60	0.568	10.00	0.363	1.00	0.069	34.15	
27	6 Juli ,12	15.10	0.568	11.10	0.363	67.50	0.069	17.23	
28	3 Mei ,13	0.00	0.568	96.10	0.363	0.50	0.069	34.93	73.16
29	18 Mei ,13	128.50	0.568	0.00	0.363	2.50	0.069	73.16	
30	19 Sept ,13	0.00	0.568	0.00	0.363	115.70	0.069	7.93	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.11 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Siring

SSD Siring									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata- rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 5.62 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.000	74.00	0.765	91.00	0.235	77.94	77.94
2	3 Des ,04	96.00	0.000	0.00	0.765	0.00	0.235	0.00	
3	12 April ,04	0.00	0.000	0.00	0.765	112.00	0.235	26.27	
4	7 Juli ,05	36.70	0.000	77.00	0.765	31.50	0.235	66.28	79.90
5	28 Jan ,05	81.00	0.000	0.00	0.765	14.00	0.235	3.28	

SSD Siring									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
6	3 Okt ,05	28.00	0.000	68.00	0.765	118.90	0.235	79.90	60.65
7	4 Nop ,06	14.00	0.000	75.00	0.765	14.00	0.235	60.65	
8	25 Maret ,06	99.50	0.000	74.00	0.765	15.00	0.235	60.12	
9	24 Maret ,06	0.00	0.000	0.00	0.765	71.10	0.235	16.68	
10	6 Nop ,07	10.00	0.000	78.50	0.765	57.00	0.235	73.41	74.73
11	10 Nop ,07	86.70	0.000	79.00	0.765	61.00	0.235	74.73	
12	11 Mei ,07	86.00	0.000	0.00	0.765	100.10	0.235	23.48	
13	10 Okt ,08	47.50	0.000	85.00	0.765	0.00	0.235	65.01	
14	22 April ,08	86.00	0.000	33.50	0.765	0.90	0.235	25.83	65.01
15	4 Juni ,08	0.80	0.000	3.00	0.765	63.90	0.235	17.28	
16	28 Nop ,09	52.60	0.000	80.00	0.765	11.80	0.235	63.95	
17	16 April ,09	91.00	0.000	0.00	0.765	48.50	0.235	11.38	
18	24 Okt ,09	20.60	0.000	52.00	0.765	53.90	0.235	52.41	63.95
19	28 Okt ,10	59.60	0.000	81.80	0.765	7.00	0.235	64.20	
20	17 Des ,10	82.30	0.000	0.00	0.765	0.00	0.235	0.00	
21	31 Maret ,10	12.00	0.000	0.00	0.765	90.30	0.235	21.18	
22	24 April ,11	6.30	0.000	96.40	0.765	2.50	0.235	74.31	74.31
23	5 Jan ,11	93.40	0.000	0.00	0.765	14.70	0.235	3.45	
24	31 Maret ,11	0.00	0.000	0.00	0.765	90.30	0.235	21.18	
25	10 Juni ,12	0.20	0.000	77.20	0.765	8.00	0.235	60.92	
26	24 Okt ,12	53.60	0.000	10.00	0.765	1.00	0.235	7.88	60.92
27	6 Juli ,12	15.10	0.000	11.10	0.765	67.50	0.235	24.32	
28	3 Mei ,13	0.00	0.000	96.10	0.765	0.50	0.235	73.62	
29	18 Mei ,13	128.50	0.000	0.00	0.765	2.50	0.235	0.59	
30	19 Sept ,13	0.00	0.000	0.00	0.765	115.70	0.235	27.14	73.62
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.12 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Selindung

SSD Selindung									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 5.65 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.000	74.00	0.336	91.00	0.663	85.20	85.20
2	3 Des ,04	96.00	0.000	0.00	0.336	0.00	0.663	0.00	
3	12 April ,04	0.00	0.000	0.00	0.336	112.00	0.663	74.24	
4	7 Juli ,05	36.70	0.000	77.00	0.336	31.50	0.663	46.77	101.68
5	28 Jan ,05	81.00	0.000	0.00	0.336	14.00	0.663	9.28	
6	3 Okt ,05	28.00	0.000	68.00	0.336	118.90	0.663	101.68	
7	4 Nop ,06	14.00	0.000	75.00	0.336	14.00	0.663	34.50	47.13
8	25 Maret ,06	99.50	0.000	74.00	0.336	15.00	0.663	34.83	
9	24 Maret ,06	0.00	0.000	0.00	0.336	71.10	0.663	47.13	
10	6 Nop ,07	10.00	0.000	78.50	0.336	57.00	0.663	64.18	67.00
11	10 Nop ,07	86.70	0.000	79.00	0.336	61.00	0.663	67.00	
12	11 Mei ,07	86.00	0.000	0.00	0.336	100.10	0.663	66.35	
13	10 Okt ,08	47.50	0.000	85.00	0.336	0.00	0.663	28.59	43.36
14	22 April ,08	86.00	0.000	33.50	0.336	0.90	0.663	11.86	
15	4 Juni ,08	0.80	0.000	3.00	0.336	63.90	0.663	43.36	

SSD Selindung									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
16	28 Nop ,09	52.60	0.000	80.00	0.336	11.80	0.663	34.73	53.21
17	16 April ,09	91.00	0.000	0.00	0.336	48.50	0.663	32.15	
18	24 Okt ,09	20.60	0.000	52.00	0.336	53.90	0.663	53.21	
19	28 Okt ,10	59.60	0.000	81.80	0.336	7.00	0.663	32.15	59.85
20	17 Des ,10	82.30	0.000	0.00	0.336	0.00	0.663	0.00	
21	31 Maret ,10	12.00	0.000	0.00	0.336	90.30	0.663	59.85	
22	24 April ,11	6.30	0.000	96.40	0.336	2.50	0.663	34.08	59.85
23	5 Jan ,11	93.40	0.000	0.00	0.336	14.70	0.663	9.74	
24	31 Maret ,11	0.00	0.000	0.00	0.336	90.30	0.663	59.85	
25	10 Juni ,12	0.20	0.000	77.20	0.336	8.00	0.663	31.26	48.47
26	24 Okt ,12	53.60	0.000	10.00	0.336	1.00	0.663	4.03	
27	6 Juli ,12	15.10	0.000	11.10	0.336	67.50	0.663	48.47	
28	3 Mei ,13	0.00	0.000	96.10	0.336	0.50	0.663	32.65	76.69
29	18 Mei ,13	128.50	0.000	0.00	0.336	2.50	0.663	1.66	
30	19 Sept ,13	0.00	0.000	0.00	0.336	115.70	0.663	76.69	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.13 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Tanah Merah

SSD Tanah Merah									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 5.56 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.000	74.00	0.000	91.00	1.000	90.99	111.99
2	3 Des ,04	96.00	0.000	0.00	0.000	0.00	1.000	0.00	
3	12 April ,04	0.00	0.000	0.00	0.000	112.00	1.000	111.99	
4	7 Juli ,05	36.70	0.000	77.00	0.000	31.50	1.000	31.50	118.89
5	28 Jan ,05	81.00	0.000	0.00	0.000	14.00	1.000	14.00	
6	3 Okt ,05	28.00	0.000	68.00	0.000	118.90	1.000	118.89	
7	4 Nop ,06	14.00	0.000	75.00	0.000	14.00	1.000	14.00	71.10
8	25 Maret ,06	99.50	0.000	74.00	0.000	15.00	1.000	15.00	
9	24 Maret ,06	0.00	0.000	0.00	0.000	71.10	1.000	71.10	
10	6 Nop ,07	10.00	0.000	78.50	0.000	57.00	1.000	57.00	100.09
11	10 Nop ,07	86.70	0.000	79.00	0.000	61.00	1.000	61.00	
12	11 Mei ,07	86.00	0.000	0.00	0.000	100.10	1.000	100.09	
13	10 Okt ,08	47.50	0.000	85.00	0.000	0.00	1.000	0.00	63.90
14	22 April ,08	86.00	0.000	33.50	0.000	0.90	1.000	0.90	
15	4 Juni ,08	0.80	0.000	3.00	0.000	63.90	1.000	63.90	
16	28 Nop ,09	52.60	0.000	80.00	0.000	11.80	1.000	11.80	53.90
17	16 April ,09	91.00	0.000	0.00	0.000	48.50	1.000	48.50	
18	24 Okt ,09	20.60	0.000	52.00	0.000	53.90	1.000	53.90	
19	28 Okt ,10	59.60	0.000	81.80	0.000	7.00	1.000	7.00	90.29
20	17 Des ,10	82.30	0.000	0.00	0.000	0.00	1.000	0.00	
21	31 Maret ,10	12.00	0.000	0.00	0.000	90.30	1.000	90.29	
22	24 April ,11	6.30	0.000	96.40	0.000	2.50	1.000	2.50	90.29
23	5 Jan ,11	93.40	0.000	0.00	0.000	14.70	1.000	14.70	
24	31 Maret ,11	0.00	0.000	0.00	0.000	90.30	1.000	90.29	
25	10 Juni ,12	0.20	0.000	77.20	0.000	8.00	1.000	8.00	67.50

SSD Tanah Merah									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
26	24 Okt ,12	53.60	0.000	10.00	0.000	1.00	1.000	1.00	115.69
27	6 Juli ,12	15.10	0.000	11.10	0.000	67.50	1.000	67.50	
28	3 Mei ,13	0.00	0.000	96.10	0.000	0.50	1.000	0.50	
29	18 Mei ,13	128.50	0.000	0.00	0.000	2.50	1.000	2.50	
30	19 Sept ,13	0.00	0.000	0.00	0.000	115.70	1.000	115.69	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.14 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Binangat

SSD Binangat									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 11.99 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.000	74.00	0.071	91.00	0.929	89.79	104.05
2	3 Des ,04	96.00	0.000	0.00	0.071	0.00	0.929	0.00	
3	12 April ,04	0.00	0.000	0.00	0.071	112.00	0.929	104.05	
4	7 Juli ,05	36.70	0.000	77.00	0.071	31.50	0.929	34.73	115.29
5	28 Jan ,05	81.00	0.000	0.00	0.071	14.00	0.929	13.01	
6	3 Okt ,05	28.00	0.000	68.00	0.071	118.90	0.929	115.29	
7	4 Nop ,06	14.00	0.000	75.00	0.071	14.00	0.929	18.33	66.05
8	25 Maret ,06	99.50	0.000	74.00	0.071	15.00	0.929	19.19	
9	24 Maret ,06	0.00	0.000	0.00	0.071	71.10	0.929	66.05	
10	6 Nop ,07	10.00	0.000	78.50	0.071	57.00	0.929	58.52	92.99
11	10 Nop ,07	86.70	0.000	79.00	0.071	61.00	0.929	62.28	
12	11 Mei ,07	86.00	0.000	0.00	0.071	100.10	0.929	92.99	
13	10 Okt ,08	47.50	0.000	85.00	0.071	0.00	0.929	6.03	59.58
14	22 April ,08	86.00	0.000	33.50	0.071	0.90	0.929	3.21	
15	4 Juni ,08	0.80	0.000	3.00	0.071	63.90	0.929	59.58	
16	28 Nop ,09	52.60	0.000	80.00	0.071	11.80	0.929	16.64	53.76
17	16 April ,09	91.00	0.000	0.00	0.071	48.50	0.929	45.06	
18	24 Okt ,09	20.60	0.000	52.00	0.071	53.90	0.929	53.76	
19	28 Okt ,10	59.60	0.000	81.80	0.071	7.00	0.929	12.31	83.89
20	17 Des ,10	82.30	0.000	0.00	0.071	0.00	0.929	0.00	
21	31 Maret ,10	12.00	0.000	0.00	0.071	90.30	0.929	83.89	
22	24 April ,11	6.30	0.000	96.40	0.071	2.50	0.929	9.16	83.89
23	5 Jan ,11	93.40	0.000	0.00	0.071	14.70	0.929	13.66	
24	31 Maret ,11	0.00	0.000	0.00	0.071	90.30	0.929	83.89	
25	10 Juni ,12	0.20	0.000	77.20	0.071	8.00	0.929	12.91	63.50
26	24 Okt ,12	53.60	0.000	10.00	0.071	1.00	0.929	1.64	
27	6 Juli ,12	15.10	0.000	11.10	0.071	67.50	0.929	63.50	
28	3 Mei ,13	0.00	0.000	96.10	0.071	0.50	0.929	7.28	107.49
29	18 Mei ,13	128.50	0.000	0.00	0.071	2.50	0.929	2.32	
30	19 Sept ,13	0.00	0.000	0.00	0.071	115.70	0.929	107.49	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.15 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Muang

SSD Muang									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 19.34 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.000	74.00	1.000	91.00	0.000	74.00	74.00
2	3 Des ,04	96.00	0.000	0.00	1.000	0.00	0.000	0.00	
3	12 April ,04	0.00	0.000	0.00	1.000	112.00	0.000	0.00	
4	7 Juli ,05	36.70	0.000	77.00	1.000	31.50	0.000	77.00	77.00
5	28 Jan ,05	81.00	0.000	0.00	1.000	14.00	0.000	0.00	
6	3 Okt ,05	28.00	0.000	68.00	1.000	118.90	0.000	68.00	
7	4 Nop ,06	14.00	0.000	75.00	1.000	14.00	0.000	75.00	75.00
8	25 Maret ,06	99.50	0.000	74.00	1.000	15.00	0.000	74.00	
9	24 Maret ,06	0.00	0.000	0.00	1.000	71.10	0.000	0.00	
10	6 Nop ,07	10.00	0.000	78.50	1.000	57.00	0.000	78.50	79.00
11	10 Nop ,07	86.70	0.000	79.00	1.000	61.00	0.000	79.00	
12	11 Mei ,07	86.00	0.000	0.00	1.000	100.10	0.000	0.00	
13	10 Okt ,08	47.50	0.000	85.00	1.000	0.00	0.000	85.00	85.00
14	22 April ,08	86.00	0.000	33.50	1.000	0.90	0.000	33.50	
15	4 Juni ,08	0.80	0.000	3.00	1.000	63.90	0.000	3.00	
16	28 Nop ,09	52.60	0.000	80.00	1.000	11.80	0.000	80.00	80.00
17	16 April ,09	91.00	0.000	0.00	1.000	48.50	0.000	0.00	
18	24 Okt ,09	20.60	0.000	52.00	1.000	53.90	0.000	52.00	
19	28 Okt ,10	59.60	0.000	81.80	1.000	7.00	0.000	81.80	81.80
20	17 Des ,10	82.30	0.000	0.00	1.000	0.00	0.000	0.00	
21	31 Maret ,10	12.00	0.000	0.00	1.000	90.30	0.000	0.00	
22	24 April ,11	6.30	0.000	96.40	1.000	2.50	0.000	96.40	96.40
23	5 Jan ,11	93.40	0.000	0.00	1.000	14.70	0.000	0.00	
24	31 Maret ,11	0.00	0.000	0.00	1.000	90.30	0.000	0.00	
25	10 Juni ,12	0.20	0.000	77.20	1.000	8.00	0.000	77.20	77.20
26	24 Okt ,12	53.60	0.000	10.00	1.000	1.00	0.000	10.00	
27	6 Juli ,12	15.10	0.000	11.10	1.000	67.50	0.000	11.10	
28	3 Mei ,13	0.00	0.000	96.10	1.000	0.50	0.000	96.10	96.10
29	18 Mei ,13	128.50	0.000	0.00	1.000	2.50	0.000	0.00	
30	19 Sept ,13	0.00	0.000	0.00	1.000	115.70	0.000	0.00	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.16 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Bayur

SSD Bayur									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 22.5 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.000	74.00	1.000	91.00	0.000	74.00	74.00
2	3 Des ,04	96.00	0.000	0.00	1.000	0.00	0.000	0.00	
3	12 April ,04	0.00	0.000	0.00	1.000	112.00	0.000	0.00	
4	7 Juli ,05	36.70	0.000	77.00	1.000	31.50	0.000	77.00	77.00
5	28 Jan ,05	81.00	0.000	0.00	1.000	14.00	0.000	0.00	

SSD Bayur										
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max	
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah				
		R1	C1	R2	C2	R3	C3			
6	3 Okt ,05	28.00	0.000	68.00	1.000	118.90	0.000	68.00	75.00	
7	4 Nop ,06	14.00	0.000	75.00	1.000	14.00	0.000	75.00		
8	25 Maret ,06	99.50	0.000	74.00	1.000	15.00	0.000	74.00		
9	24 Maret ,06	0.00	0.000	0.00	1.000	71.10	0.000	0.00		
10	6 Nop ,07	10.00	0.000	78.50	1.000	57.00	0.000	78.50	79.00	
11	10 Nop ,07	86.70	0.000	79.00	1.000	61.00	0.000	79.00		
12	11 Mei ,07	86.00	0.000	0.00	1.000	100.10	0.000	0.00		
13	10 Okt ,08	47.50	0.000	85.00	1.000	0.00	0.000	85.00		
14	22 April ,08	86.00	0.000	33.50	1.000	0.90	0.000	33.50	85.00	
15	4 Juni ,08	0.80	0.000	3.00	1.000	63.90	0.000	3.00		
16	28 Nop ,09	52.60	0.000	80.00	1.000	11.80	0.000	80.00		
17	16 April ,09	91.00	0.000	0.00	1.000	48.50	0.000	0.00		
18	24 Okt ,09	20.60	0.000	52.00	1.000	53.90	0.000	52.00	80.00	
19	28 Okt ,10	59.60	0.000	81.80	1.000	7.00	0.000	81.80		
20	17 Des ,10	82.30	0.000	0.00	1.000	0.00	0.000	0.00		
21	31 Maret ,10	12.00	0.000	0.00	1.000	90.30	0.000	0.00		
22	24 April ,11	6.30	0.000	96.40	1.000	2.50	0.000	96.40	96.40	
23	5 Jan ,11	93.40	0.000	0.00	1.000	14.70	0.000	0.00		
24	31 Maret ,11	0.00	0.000	0.00	1.000	90.30	0.000	0.00		
25	10 Juni ,12	0.20	0.000	77.20	1.000	8.00	0.000	77.20		
26	24 Okt ,12	53.60	0.000	10.00	1.000	1.00	0.000	10.00	77.20	
27	6 Juli ,12	15.10	0.000	11.10	1.000	67.50	0.000	11.10		
28	3 Mei ,13	0.00	0.000	96.10	1.000	0.50	0.000	96.10		
29	18 Mei ,13	128.50	0.000	0.00	1.000	2.50	0.000	0.00		
30	19 Sept ,13	0.00	0.000	0.00	1.000	115.70	0.000	0.00	96.10	
Sumber : Hasil Analisa (2014)										

Tabel 5.17 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Benanga

SSD Benanga									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 4.85 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.000	74.00	0.382	91.00	0.618	84.57	84.57
2	3 Des ,04	96.00	0.000	0.00	0.382	0.00	0.618	0.00	
3	12 April ,04	0.00	0.000	0.00	0.382	112.00	0.618	69.26	
4	7 Juli ,05	36.70	0.000	77.00	0.382	31.50	0.618	48.92	99.53
5	28 Jan ,05	81.00	0.000	0.00	0.382	14.00	0.618	8.66	
6	3 Okt ,05	28.00	0.000	68.00	0.382	118.90	0.618	99.53	
7	4 Nop ,06	14.00	0.000	75.00	0.382	14.00	0.618	37.34	43.97
8	25 Maret ,06	99.50	0.000	74.00	0.382	15.00	0.618	37.57	
9	24 Maret ,06	0.00	0.000	0.00	0.382	71.10	0.618	43.97	
10	6 Nop ,07	10.00	0.000	78.50	0.382	57.00	0.618	65.27	67.93
11	10 Nop ,07	86.70	0.000	79.00	0.382	61.00	0.618	67.93	
12	11 Mei ,07	86.00	0.000	0.00	0.382	100.10	0.618	61.90	
13	10 Okt ,08	47.50	0.000	85.00	0.382	0.00	0.618	32.50	40.66
14	22 April ,08	86.00	0.000	33.50	0.382	0.90	0.618	13.37	
15	4 Juni ,08	0.80	0.000	3.00	0.382	63.90	0.618	40.66	

SSD Benanga									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
16	28 Nop ,09	52.60	0.000	80.00	0.382	11.80	0.618	37.89	53.22
17	16 April ,09	91.00	0.000	0.00	0.382	48.50	0.618	29.99	
18	24 Okt ,09	20.60	0.000	52.00	0.382	53.90	0.618	53.22	
19	28 Okt ,10	59.60	0.000	81.80	0.382	7.00	0.618	35.61	55.84
20	17 Des ,10	82.30	0.000	0.00	0.382	0.00	0.618	0.00	
21	31 Maret ,10	12.00	0.000	0.00	0.382	90.30	0.618	55.84	
22	24 April ,11	6.30	0.000	96.40	0.382	2.50	0.618	38.41	55.84
23	5 Jan ,11	93.40	0.000	0.00	0.382	14.70	0.618	9.09	
24	31 Maret ,11	0.00	0.000	0.00	0.382	90.30	0.618	55.84	
25	10 Juni ,12	0.20	0.000	77.20	0.382	8.00	0.618	34.47	45.99
26	24 Okt ,12	53.60	0.000	10.00	0.382	1.00	0.618	4.44	
27	6 Juli ,12	15.10	0.000	11.10	0.382	67.50	0.618	45.99	
28	3 Mei ,13	0.00	0.000	96.10	0.382	0.50	0.618	37.06	71.55
29	18 Mei ,13	128.50	0.000	0.00	0.382	2.50	0.618	1.55	
30	19 Sept ,13	0.00	0.000	0.00	0.382	115.70	0.618	71.55	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.18 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Betapus

SSD Betapus									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 9.33 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.000	74.00	0.799	91.00	0.201	77.44	77.44
2	3 Des ,04	96.00	0.000	0.00	0.799	0.00	0.201	0.00	
3	12 April ,04	0.00	0.000	0.00	0.799	112.00	0.201	22.50	
4	7 Juli ,05	36.70	0.000	77.00	0.799	31.50	0.201	67.88	78.24
5	28 Jan ,05	81.00	0.000	0.00	0.799	14.00	0.201	2.81	
6	3 Okt ,05	28.00	0.000	68.00	0.799	118.90	0.201	78.24	
7	4 Nop ,06	14.00	0.000	75.00	0.799	14.00	0.201	62.77	62.77
8	25 Maret ,06	99.50	0.000	74.00	0.799	15.00	0.201	62.17	
9	24 Maret ,06	0.00	0.000	0.00	0.799	71.10	0.201	14.28	
10	6 Nop ,07	10.00	0.000	78.50	0.799	57.00	0.201	74.20	75.41
11	10 Nop ,07	86.70	0.000	79.00	0.799	61.00	0.201	75.41	
12	11 Mei ,07	86.00	0.000	0.00	0.799	100.10	0.201	20.11	
13	10 Okt ,08	47.50	0.000	85.00	0.799	0.00	0.201	67.95	67.95
14	22 April ,08	86.00	0.000	33.50	0.799	0.90	0.201	26.96	
15	4 Juni ,08	0.80	0.000	3.00	0.799	63.90	0.201	15.23	
16	28 Nop ,09	52.60	0.000	80.00	0.799	11.80	0.201	66.32	66.32
17	16 April ,09	91.00	0.000	0.00	0.799	48.50	0.201	9.74	
18	24 Okt ,09	20.60	0.000	52.00	0.799	53.90	0.201	52.40	
19	28 Okt ,10	59.60	0.000	81.80	0.799	7.00	0.201	66.80	66.80
20	17 Des ,10	82.30	0.000	0.00	0.799	0.00	0.201	0.00	
21	31 Maret ,10	12.00	0.000	0.00	0.799	90.30	0.201	18.14	
22	24 April ,11	6.30	0.000	96.40	0.799	2.50	0.201	77.57	77.57
23	5 Jan ,11	93.40	0.000	0.00	0.799	14.70	0.201	2.95	
24	31 Maret ,11	0.00	0.000	0.00	0.799	90.30	0.201	18.14	
25	10 Juni ,12	0.20	0.000	77.20	0.799	8.00	0.201	63.32	63.32

SSD Betapus									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
26	24 Okt ,12	53.60	0.000	10.00	0.799	1.00	0.201	8.20	76.92
27	6 Juli ,12	15.10	0.000	11.10	0.799	67.50	0.201	22.43	
28	3 Mei ,13	0.00	0.000	96.10	0.799	0.50	0.201	76.92	
29	18 Mei ,13	128.50	0.000	0.00	0.799	2.50	0.201	0.50	
30	19 Sept ,13	0.00	0.000	0.00	0.799	115.70	0.201	23.24	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.19 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Lampake

SSD Lampake									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 12.88 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.000	74.00	0.000	91.00	1.000	91.03	112.03
2	3 Des ,04	96.00	0.000	0.00	0.000	0.00	1.000	0.00	
3	12 April ,04	0.00	0.000	0.00	0.000	112.00	1.000	112.03	
4	7 Juli ,05	36.70	0.000	77.00	0.000	31.50	1.000	31.51	118.94
5	28 Jan ,05	81.00	0.000	0.00	0.000	14.00	1.000	14.00	
6	3 Okt ,05	28.00	0.000	68.00	0.000	118.90	1.000	118.94	
7	4 Nop ,06	14.00	0.000	75.00	0.000	14.00	1.000	14.00	71.12
8	25 Maret ,06	99.50	0.000	74.00	0.000	15.00	1.000	15.00	
9	24 Maret ,06	0.00	0.000	0.00	0.000	71.10	1.000	71.12	
10	6 Nop ,07	10.00	0.000	78.50	0.000	57.00	1.000	57.02	100.13
11	10 Nop ,07	86.70	0.000	79.00	0.000	61.00	1.000	61.02	
12	11 Mei ,07	86.00	0.000	0.00	0.000	100.10	1.000	100.13	
13	10 Okt ,08	47.50	0.000	85.00	0.000	0.00	1.000	0.00	63.92
14	22 April ,08	86.00	0.000	33.50	0.000	0.90	1.000	0.90	
15	4 Juni ,08	0.80	0.000	3.00	0.000	63.90	1.000	63.92	
16	28 Nop ,09	52.60	0.000	80.00	0.000	11.80	1.000	11.80	53.92
17	16 April ,09	91.00	0.000	0.00	0.000	48.50	1.000	48.51	
18	24 Okt ,09	20.60	0.000	52.00	0.000	53.90	1.000	53.92	
19	28 Okt ,10	59.60	0.000	81.80	0.000	7.00	1.000	7.00	90.33
20	17 Des ,10	82.30	0.000	0.00	0.000	0.00	1.000	0.00	
21	31 Maret ,10	12.00	0.000	0.00	0.000	90.30	1.000	90.33	
22	24 April ,11	6.30	0.000	96.40	0.000	2.50	1.000	2.50	90.33
23	5 Jan ,11	93.40	0.000	0.00	0.000	14.70	1.000	14.70	
24	31 Maret ,11	0.00	0.000	0.00	0.000	90.30	1.000	90.33	
25	10 Juni ,12	0.20	0.000	77.20	0.000	8.00	1.000	8.00	67.52
26	24 Okt ,12	53.60	0.000	10.00	0.000	1.00	1.000	1.00	
27	6 Juli ,12	15.10	0.000	11.10	0.000	67.50	1.000	67.52	
28	3 Mei ,13	0.00	0.000	96.10	0.000	0.50	1.000	0.50	115.73
29	18 Mei ,13	128.50	0.000	0.00	0.000	2.50	1.000	2.50	
30	19 Sept ,13	0.00	0.000	0.00	0.000	115.70	1.000	115.73	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.20 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Bangkuring

SSD Bangkuring									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 4.33 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.000	74.00	0.047	91.00	0.952	90.12	106.67
2	3 Des ,04	96.00	0.000	0.00	0.047	0.00	0.952	0.00	
3	12 April ,04	0.00	0.000	0.00	0.047	112.00	0.952	106.67	
4	7 Juli ,05	36.70	0.000	77.00	0.047	31.50	0.952	33.59	116.41
5	28 Jan ,05	81.00	0.000	0.00	0.047	14.00	0.952	13.33	
6	3 Okt ,05	28.00	0.000	68.00	0.047	118.90	0.952	116.41	
7	4 Nop ,06	14.00	0.000	75.00	0.047	14.00	0.952	16.83	67.72
8	25 Maret ,06	99.50	0.000	74.00	0.047	15.00	0.952	17.73	
9	24 Maret ,06	0.00	0.000	0.00	0.047	71.10	0.952	67.72	
10	6 Nop ,07	10.00	0.000	78.50	0.047	57.00	0.952	57.94	95.34
11	10 Nop ,07	86.70	0.000	79.00	0.047	61.00	0.952	61.78	
12	11 Mei ,07	86.00	0.000	0.00	0.047	100.10	0.952	95.34	
13	10 Okt ,08	47.50	0.000	85.00	0.047	0.00	0.952	3.96	61.00
14	22 April ,08	86.00	0.000	33.50	0.047	0.90	0.952	2.42	
15	4 Juni ,08	0.80	0.000	3.00	0.047	63.90	0.952	61.00	
16	28 Nop ,09	52.60	0.000	80.00	0.047	11.80	0.952	14.96	53.76
17	16 April ,09	91.00	0.000	0.00	0.047	48.50	0.952	46.19	
18	24 Okt ,09	20.60	0.000	52.00	0.047	53.90	0.952	53.76	
19	28 Okt ,10	59.60	0.000	81.80	0.047	7.00	0.952	10.48	86.01
20	17 Des ,10	82.30	0.000	0.00	0.047	0.00	0.952	0.00	
21	31 Maret ,10	12.00	0.000	0.00	0.047	90.30	0.952	86.01	
22	24 April ,11	6.30	0.000	96.40	0.047	2.50	0.952	6.87	86.01
23	5 Jan ,11	93.40	0.000	0.00	0.047	14.70	0.952	14.00	
24	31 Maret ,11	0.00	0.000	0.00	0.047	90.30	0.952	86.01	
25	10 Juni ,12	0.20	0.000	77.20	0.047	8.00	0.952	11.21	64.81
26	24 Okt ,12	53.60	0.000	10.00	0.047	1.00	0.952	1.42	
27	6 Juli ,12	15.10	0.000	11.10	0.047	67.50	0.952	64.81	
28	3 Mei ,13	0.00	0.000	96.10	0.047	0.50	0.952	4.95	110.20
29	18 Mei ,13	128.50	0.000	0.00	0.047	2.50	0.952	2.38	
30	19 Sept ,13	0.00	0.000	0.00	0.047	115.70	0.952	110.20	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.21 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Lingai

SSD Lingai									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 1.68 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.000	74.00	0.000	91.00	1.000	91.02	112.03
2	3 Des ,04	96.00	0.000	0.00	0.000	0.00	1.000	0.00	
3	12 April ,04	0.00	0.000	0.00	0.000	112.00	1.000	112.03	
4	7 Juli ,05	36.70	0.000	77.00	0.000	31.50	1.000	31.51	118.93
5	28 Jan ,05	81.00	0.000	0.00	0.000	14.00	1.000	14.00	

SSD Lingai									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
6	3 Okt ,05	28.00	0.000	68.00	0.000	118.90	1.000	118.93	71.12
7	4 Nop ,06	14.00	0.000	75.00	0.000	14.00	1.000	14.00	
8	25 Maret ,06	99.50	0.000	74.00	0.000	15.00	1.000	15.00	
9	24 Maret ,06	0.00	0.000	0.00	0.000	71.10	1.000	71.12	100.12
10	6 Nop ,07	10.00	0.000	78.50	0.000	57.00	1.000	57.01	
11	10 Nop ,07	86.70	0.000	79.00	0.000	61.00	1.000	61.01	
12	11 Mei ,07	86.00	0.000	0.00	0.000	100.10	1.000	100.12	63.91
13	10 Okt ,08	47.50	0.000	85.00	0.000	0.00	1.000	0.00	
14	22 April ,08	86.00	0.000	33.50	0.000	0.90	1.000	0.90	
15	4 Juni ,08	0.80	0.000	3.00	0.000	63.90	1.000	63.91	53.91
16	28 Nop ,09	52.60	0.000	80.00	0.000	11.80	1.000	11.80	
17	16 April ,09	91.00	0.000	0.00	0.000	48.50	1.000	48.51	
18	24 Okt ,09	20.60	0.000	52.00	0.000	53.90	1.000	53.91	90.32
19	28 Okt ,10	59.60	0.000	81.80	0.000	7.00	1.000	7.00	
20	17 Des ,10	82.30	0.000	0.00	0.000	0.00	1.000	0.00	
21	31 Maret ,10	12.00	0.000	0.00	0.000	90.30	1.000	90.32	90.32
22	24 April ,11	6.30	0.000	96.40	0.000	2.50	1.000	2.50	
23	5 Jan ,11	93.40	0.000	0.00	0.000	14.70	1.000	14.70	
24	31 Maret ,11	0.00	0.000	0.00	0.000	90.30	1.000	90.32	67.52
25	10 Juni ,12	0.20	0.000	77.20	0.000	8.00	1.000	8.00	
26	24 Okt ,12	53.60	0.000	10.00	0.000	1.00	1.000	1.00	
27	6 Juli ,12	15.10	0.000	11.10	0.000	67.50	1.000	67.52	115.73
28	3 Mei ,13	0.00	0.000	96.10	0.000	0.50	1.000	0.50	
29	18 Mei ,13	128.50	0.000	0.00	0.000	2.50	1.000	2.50	
30	19 Sept ,13	0.00	0.000	0.00	0.000	115.70	1.000	115.73	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.22 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Mugirejo

SSD Mugirejo									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 6.78 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.000	74.00	0.000	91.00	1.000	90.97	111.96
2	3 Des ,04	96.00	0.000	0.00	0.000	0.00	1.000	0.00	
3	12 April ,04	0.00	0.000	0.00	0.000	112.00	1.000	111.96	
4	7 Juli ,05	36.70	0.000	77.00	0.000	31.50	1.000	31.49	118.85
5	28 Jan ,05	81.00	0.000	0.00	0.000	14.00	1.000	13.99	
6	3 Okt ,05	28.00	0.000	68.00	0.000	118.90	1.000	118.85	
7	4 Nop ,06	14.00	0.000	75.00	0.000	14.00	1.000	13.99	71.07
8	25 Maret ,06	99.50	0.000	74.00	0.000	15.00	1.000	14.99	
9	24 Maret ,06	0.00	0.000	0.00	0.000	71.10	1.000	71.07	
10	6 Nop ,07	10.00	0.000	78.50	0.000	57.00	1.000	56.98	100.06
11	10 Nop ,07	86.70	0.000	79.00	0.000	61.00	1.000	60.98	
12	11 Mei ,07	86.00	0.000	0.00	0.000	100.10	1.000	100.06	
13	10 Okt ,08	47.50	0.000	85.00	0.000	0.00	1.000	0.00	63.88
14	22 April ,08	86.00	0.000	33.50	0.000	0.90	1.000	0.90	
15	4 Juni ,08	0.80	0.000	3.00	0.000	63.90	1.000	63.88	

SSD Mugirejo									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
16	28 Nop ,09	52.60	0.000	80.00	0.000	11.80	1.000	11.80	53.88
17	16 April ,09	91.00	0.000	0.00	0.000	48.50	1.000	48.48	
18	24 Okt ,09	20.60	0.000	52.00	0.000	53.90	1.000	53.88	
19	28 Okt ,10	59.60	0.000	81.80	0.000	7.00	1.000	7.00	90.27
20	17 Des ,10	82.30	0.000	0.00	0.000	0.00	1.000	0.00	
21	31 Maret ,10	12.00	0.000	0.00	0.000	90.30	1.000	90.27	
22	24 April ,11	6.30	0.000	96.40	0.000	2.50	1.000	2.50	90.27
23	5 Jan ,11	93.40	0.000	0.00	0.000	14.70	1.000	14.69	
24	31 Maret ,11	0.00	0.000	0.00	0.000	90.30	1.000	90.27	
25	10 Juni ,12	0.20	0.000	77.20	0.000	8.00	1.000	8.00	67.47
26	24 Okt ,12	53.60	0.000	10.00	0.000	1.00	1.000	1.00	
27	6 Juli ,12	15.10	0.000	11.10	0.000	67.50	1.000	67.47	
28	3 Mei ,13	0.00	0.000	96.10	0.000	0.50	1.000	0.50	115.66
29	18 Mei ,13	128.50	0.000	0.00	0.000	2.50	1.000	2.50	
30	19 Sept ,13	0.00	0.000	0.00	0.000	115.70	1.000	115.66	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.23 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Sempaja

SSD Sempaja									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 20.26 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.000	74.00	0.196	91.00	0.804	87.68	90.08
2	3 Des ,04	96.00	0.000	0.00	0.196	0.00	0.804	0.00	
3	12 April ,04	0.00	0.000	0.00	0.196	112.00	0.804	90.08	
4	7 Juli ,05	36.70	0.000	77.00	0.196	31.50	0.804	40.42	108.94
5	28 Jan ,05	81.00	0.000	0.00	0.196	14.00	0.804	11.26	
6	3 Okt ,05	28.00	0.000	68.00	0.196	118.90	0.804	108.94	
7	4 Nop ,06	14.00	0.000	75.00	0.196	14.00	0.804	25.95	57.18
8	25 Maret ,06	99.50	0.000	74.00	0.196	15.00	0.804	26.56	
9	24 Maret ,06	0.00	0.000	0.00	0.196	71.10	0.804	57.18	
10	6 Nop ,07	10.00	0.000	78.50	0.196	57.00	0.804	61.22	80.50
11	10 Nop ,07	86.70	0.000	79.00	0.196	61.00	0.804	64.53	
12	11 Mei ,07	86.00	0.000	0.00	0.196	100.10	0.804	80.50	
13	10 Okt ,08	47.50	0.000	85.00	0.196	0.00	0.804	16.65	51.98
14	22 April ,08	86.00	0.000	33.50	0.196	0.90	0.804	7.29	
15	4 Juni ,08	0.80	0.000	3.00	0.196	63.90	0.804	51.98	
16	28 Nop ,09	52.60	0.000	80.00	0.196	11.80	0.804	25.16	53.53
17	16 April ,09	91.00	0.000	0.00	0.196	48.50	0.804	39.01	
18	24 Okt ,09	20.60	0.000	52.00	0.196	53.90	0.804	53.53	
19	28 Okt ,10	59.60	0.000	81.80	0.196	7.00	0.804	21.65	72.62
20	17 Des ,10	82.30	0.000	0.00	0.196	0.00	0.804	0.00	
21	31 Maret ,10	12.00	0.000	0.00	0.196	90.30	0.804	72.62	
22	24 April ,11	6.30	0.000	96.40	0.196	2.50	0.804	20.89	72.62
23	5 Jan ,11	93.40	0.000	0.00	0.196	14.70	0.804	11.82	
24	31 Maret ,11	0.00	0.000	0.00	0.196	90.30	0.804	72.62	
25	10 Juni ,12	0.20	0.000	77.20	0.196	8.00	0.804	21.56	56.46

SSD Sempaja									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
26	24 Okt ,12	53.60	0.000	10.00	0.196	1.00	0.804	2.76	93.05
27	6 Juli ,12	15.10	0.000	11.10	0.196	67.50	0.804	56.46	
28	3 Mei ,13	0.00	0.000	96.10	0.196	0.50	0.804	19.23	
29	18 Mei ,13	128.50	0.000	0.00	0.196	2.50	0.804	2.01	
30	19 Sept ,13	0.00	0.000	0.00	0.196	115.70	0.804	93.05	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

Tabel 5.24 Curah Hujan Rata-rata Maksimum SSD Karang Mumus Hilir

SSD Karang Mumus Hilir									
No	Waktu	Hujan Rata-rata						Rata-rata Thiessen	Hujan Rata-rata Max
		Sta. Sei Siring		Sta. Pampang		Sta. Tanah Merah			
		R1	C1	R2	C2	R3	C3		
Luas Sub sub DAS : 23.56 Km ²									
1	7 Mei ,04	0.00	0.000	74.00	0.000	91.00	1.000	91.00	112.00
2	3 Des ,04	96.00	0.000	0.00	0.000	0.00	1.000	0.00	
3	12 April ,04	0.00	0.000	0.00	0.000	112.00	1.000	112.00	
4	7 Juli ,05	36.70	0.000	77.00	0.000	31.50	1.000	31.50	118.90
5	28 Jan ,05	81.00	0.000	0.00	0.000	14.00	1.000	14.00	
6	3 Okt ,05	28.00	0.000	68.00	0.000	118.90	1.000	118.90	
7	4 Nop ,06	14.00	0.000	75.00	0.000	14.00	1.000	14.00	71.10
8	25 Maret ,06	99.50	0.000	74.00	0.000	15.00	1.000	15.00	
9	24 Maret ,06	0.00	0.000	0.00	0.000	71.10	1.000	71.10	
10	6 Nop ,07	10.00	0.000	78.50	0.000	57.00	1.000	57.00	100.10
11	10 Nop ,07	86.70	0.000	79.00	0.000	61.00	1.000	61.00	
12	11 Mei ,07	86.00	0.000	0.00	0.000	100.10	1.000	100.10	
13	10 Okt ,08	47.50	0.000	85.00	0.000	0.00	1.000	0.00	63.90
14	22 April ,08	86.00	0.000	33.50	0.000	0.90	1.000	0.90	
15	4 Juni ,08	0.80	0.000	3.00	0.000	63.90	1.000	63.90	
16	28 Nop ,09	52.60	0.000	80.00	0.000	11.80	1.000	11.80	53.90
17	16 April ,09	91.00	0.000	0.00	0.000	48.50	1.000	48.50	
18	24 Okt ,09	20.60	0.000	52.00	0.000	53.90	1.000	53.90	
19	28 Okt ,10	59.60	0.000	81.80	0.000	7.00	1.000	7.00	90.30
20	17 Des ,10	82.30	0.000	0.00	0.000	0.00	1.000	0.00	
21	31 Maret ,10	12.00	0.000	0.00	0.000	90.30	1.000	90.30	
22	24 April ,11	6.30	0.000	96.40	0.000	2.50	1.000	2.50	90.30
23	5 Jan ,11	93.40	0.000	0.00	0.000	14.70	1.000	14.70	
24	31 Maret ,11	0.00	0.000	0.00	0.000	90.30	1.000	90.30	
25	10 Juni ,12	0.20	0.000	77.20	0.000	8.00	1.000	8.00	67.50
26	24 Okt ,12	53.60	0.000	10.00	0.000	1.00	1.000	1.00	
27	6 Juli ,12	15.10	0.000	11.10	0.000	67.50	1.000	67.50	
28	3 Mei ,13	0.00	0.000	96.10	0.000	0.50	1.000	0.50	115.70
29	18 Mei ,13	128.50	0.000	0.00	0.000	2.50	1.000	2.50	
30	19 Sept ,13	0.00	0.000	0.00	0.000	115.70	1.000	115.70	
Sumber : Hasil Analisa (2014)									

5.1.1.3 Perhitungan Curah Hujan Rencana

Perhitungan curah hujan rencana dilakukan untuk mendapatkan curah hujan yang nantinya akan digunakan sebagai dasar perhitungan debit banjir rencana. Perhitungan curah hujan rencana dilakukan secara parsial untuk masing-masing sub sub DAS, dengan percobaan menggunakan beberapa model distribusi statistik seperti Distribusi Normal, Distribusi Gumbel dan Distribusi Log Pearson Tipe III.

Setelah dilakukan proses distribusi statistik, hasil perhitungan tersebut diuji dengan beberapa metode seperti Uji *Chi Square* dan Uji Smirnov-Kolmogorof sebagai acuan pemilihan distribusi yang paling memenuhi persyaratan uji statistik. Berikut contoh hasil perhitungan dari curah hujan rencana pada sub sub DAS Karang Mumus :

Sub Sub DAS Karang Mumus Hulu

a. Perhitungan Distribusi Hujan

Distribusi hujan dilakukan untuk menentukan nilai hujan rencana masing-masing periode ulang.

Tabel 5.25 Curah Hujan Maksimum Rata-rata

No.	Tahun	X_T
1.	2004	95.49
2.	2005	80.57
3.	2006	99.36
4.	2007	86.66
5.	2008	85.72
6.	2009	90.52
7.	2010	81.86
8.	2011	92.91
9.	2012	53.37
10.	2013	127.82

Sumber : Hasil Analisa (2014)

Tabel 5.26 Perhitungan Parameter Perhitungan Distribusi

No.	Tahun	X_i	\bar{X}	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$	$(X_i - \bar{X})^3$	$(X_i - \bar{X})^4$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	2004	95.49	89.43	6.06	36.78	223.02	1352.48
2	2005	80.57	89.43	-8.86	78.43	-694.65	6152.03
3	2006	99.36	89.43	9.93	98.67	980.12	9735.76
4	2007	86.66	89.43	-2.77	7.69	-21.32	59.12
5	2008	85.72	89.43	-3.71	13.74	-50.96	188.92
6	2009	90.52	89.43	1.09	1.19	1.30	1.42
7	2010	81.86	89.43	-7.56	57.20	-432.63	3272.11
8	2011	92.91	89.43	3.48	12.10	42.07	146.34
9	2012	53.37	89.43	-36.06	1300.26	-46886.07	1690668.66
10	2013	127.82	89.43	38.39	1473.98	56589.68	2172616.06
	Total	894.28			3080.04	9750.56	3884192.89

Sumber : Hasil Analisa (2014)

- Distribusi Normal

Perhitungan hujan rencana berdasarkan Distribusi Probabilitas Normal, dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$n = 10$$

Perhitungan Standar Deviasi

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{3080.04}{9}} = 18.50 \text{ mm}$$

Perhitungan Koefisien Variasi (*Variation Coefficient*)

$$CV = \frac{S}{\bar{X}}$$

$$= \frac{18.50 \text{ mm}}{89.43 \text{ mm}} = 0.206$$

Perhitungan Koefisien Kemencengan (*Skewness*)

$$CS = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)}$$

$$= \frac{9750.56}{(9)(8)} = 1354.244$$

$$CS = \frac{1354.244}{56589.68} = 0.213$$

Perhitungan Koefisien Kurtosis

$$CK = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{n \cdot S^4} = \frac{1}{1} = 3.3164$$

Perhitungan nilai X_{TR}

Pada perhitungan curah hujan rencana, nilai K_T berdasarkan pada nilai T dari Tabel, pada tesis ini diambil nilai $T = 2-100$ tahun.

$$X_{TR} = \bar{X} + K_T \cdot S$$

Tabel 5.27 Hasil perhitungan Curah Hujan Rrencana Metode Normal

No.	Periode Ulang (T)	\bar{X}	K_T	S	X_{TR}
1	2	89.43	0	18.50	89.427
2	5	89.43	0.84	18.50	104.967
3	10	89.43	1.28	18.50	113.107
4	20	89.43	1.64	18.50	119.766
5	50	89.43	2.05	18.50	127.351
6	100	89.43	2.33	18.50	132.531

Sumber : Hasil Analisa (2014)

- Distribusi Gumbel

Perhitungan hujan rencana berdasarkan Distribusi Probabilitas Gumbel, dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$n = 10$$

Perhitungan Standar Deviasi

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{3080.04}{9}} = 18.50 \text{ mm}$$

Perhitungan Koefisien Variasi (*Variation Coefficient*)

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} = \frac{18.50 \text{ mm}}{89.43 \text{ mm}} = 0.206$$

Perhitungan Koefisien Kemencengan (*Skewness*)

$$CS = \frac{a}{(n-1)(n-2)} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)} = 1354.244$$

$$CS = \frac{1354.244}{(n-1)(n-2)} = 0.213$$

Perhitungan Koefisien Kurtosis

$$CK = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{1}{3} = 3.3164$$

Penentuan nilai S_n dan Y_n

Untuk menentukan nilai S_n tergantung pada **Tabel Lampiran A.6** yang tergantung pada nilai n (jumlah data).

$$N = 10$$

$$S_n = 0.9496$$

$$Y_n = 0.4592$$

Perhitungan nilai Y_t

Perhitungan nilai Y_t bergantung mapda nilai periode ulang (T) sebagai berikut :

Tabel 5.28 Hasil perhitungan Y_T

No.	Peride Ulang (T)	Y_T
1	2	0.3665
2	5	1.4999
3	10	2.2504
4	20	2.9702
5	50	3.9019
6	100	4.6001

Sumber : Hasil Analisa (2014)

Perhitungan nilai X_{TR}

Pada perhitungan curah hujan rencana, nilai K_T berdasarkan pada nilai T dari Tabel, pada tesis ini diambil nilai $T = 2-100$ tahun.

$$X_{TR} = \bar{X} + S.K$$

$$Y_t = \text{Reduce Variate} = -Ln - Ln \frac{T-1}{T}$$

$$K = \text{faktor frekwensi Gumbel} = \frac{Y_t - Y_n}{S_n}$$

Tabel 5.29 Hasil perhitungan Curah Hujan Rencana Distribusi Gumbel

No.	Periode Ulang (T)	—	S	S _n	Y _t	Y _n	X _{tr}
1	2	89.43	18.50	0.950	0.367	0.459	87.622
2	5	89.43	18.50	0.950	1.500	0.459	109.703
3	10	89.43	18.50	0.950	2.250	0.459	124.322
4	20	89.43	18.50	0.950	2.970	0.459	138.345
5	50	89.43	18.50	0.950	3.902	0.459	156.497
6	100	89.43	18.50	0.950	4.600	0.459	170.099

Sumber : Hasil Analisa (2014)

- Distribusi Log Pearson Tipe III

Pada perhitungan distribusi Log Pearson Tipe III, semua nilai X dirubah menjadi bilangan Log terlebih dahulu.

Tabel 5.30 Perhitungan Distribusi Log Pearson Tipe III

No	Tahun	Xi	Log Xi	Log \bar{X}	(Log X _i -Log \bar{X})	(Log X _i -Log \bar{X}) ²	(Log X _i -Log \bar{X}) ³	(Log X _i -Log \bar{X}) ⁴
1	2004	95.49	1.98	1.94	0.04	0.001396	0.000052	0.000002
2	2005	80.57	1.91	1.94	-0.04	0.001326	-0.000048	0.000002
3	2006	99.36	2.00	1.94	0.05	0.002983	0.000163	0.000009
4	2007	86.66	1.94	1.94	0.00	0.000023	0.000000	0.000000
5	2008	85.72	1.93	1.94	-0.01	0.000091	-0.000001	0.000000
6	2009	90.52	1.96	1.94	0.01	0.000200	0.000003	0.000000
7	2010	81.86	1.91	1.94	-0.03	0.000871	-0.000026	0.000001
8	2011	92.91	1.97	1.94	0.03	0.000647	0.000016	0.000000
9	2012	53.37	1.73	1.94	-0.22	0.046360	-0.009982	0.002149
10	2013	127.82	2.11	1.94	0.16	0.026896	0.004411	0.000723
	Total	894.28	19.43			0.080792	-0.005412	0.002886

Sumber : Hasil Analisa (2014)

Perhitungan hujan rencana berdasarkan Distribusi Probabilitas Gumbel, dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$n = 10$$

Perhitungan Standar Deviasi

$$L\ og\ - = \sqrt{\frac{\sum (\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{\dots}{\dots}} = 0.095\ \text{mm}$$

Perhitungan Koefisien Variasi (*Variation Coefficient*)

$$CV = \frac{L\ og\ -}{\sum \text{Log}}$$

$$= \frac{\text{mm}}{\text{mm}} = 0.0487$$

Perhitungan Koefisien Kemencengan (*Skewness*)

$$CS = \frac{n \sum (\text{Log } - \text{Log })}{n - n - (\text{Log })}$$

$$CS = \frac{\dots}{\dots} = -0.883$$

} Sama dengan nilai G

Perhitungan Koefisien Kurtosis

$$CK = \frac{\sqrt{n} \sum_i^n (\text{Log } - \text{Log })}{(L\ og\)}$$

$$= \frac{\dots}{\dots} = -6.715$$

Penentuan nilai K_T

Penentuan nilai K_T berdasarkan pada nilai T dan Nilai Cs dari **Tabel 5.31**, berikut hasil perhitungan nilai K_T :

Tabel 5.31 Hasil perhitungan K_T

No.	Periode Ulang	K_T
1	2	0.145391687
2	5	0.854326039
3	10	1.150097372
4	20	1.325821658
5	50	1.558292115
6	100	1.671900428

Sumber : Hasil Analisa (2014)

Penentuan nilai X_{TR}

Perhitungan nilai X_{TR} berdasarkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Log } X_{TR} = \text{Log } X + K_T \times S \log X$$

Tabel 5.32 Hasil Perhitungan Curah Hujan Rencana
Distribusi Log Pearson III

No.	Periode Ulang	\bar{o}	K_T	\bar{o}	Log X_{TR}	X_{TR}
1	2	1.94	0.1454	0.095	1.96	90.4434
2	5	1.94	0.8543	0.095	2.02	105.5713
3	10	1.94	1.1501	0.095	2.05	112.6080
4	25	1.94	1.3258	0.095	2.09	123.0961
5	50	1.94	1.5583	0.095	2.10	126.1852
6	100	1.94	1.6719	0.095	2.09	121.6186

Sumber : Hasil Analisa (2014)

- Rekapitulasi Hasil Perhitungan Parameter Distribusi

Berikut merupakan rekapitulasi hasil perhitungan parameter distribusi

Tabel 5.33 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Parameter Distribusi

No.	Jenis Distribusi	Parameter			
		S / \bar{o}	CS	CK	CV
1	Normal	18.499	0.214	3.316	0.207
2	Gumbel	18.499	0.214	3.316	0.207
3	Log Pearson Tipe III	0.095	-0.884	-6.715	0.049

Sumber : Hasil Analisa (2014)

b. Perhitungan Uji Distribusi Hujan

Uji distribusi probabilitas dimaksudkan untuk mengetahui apakah persamaan distribusi probabilitas yang dipilih dapat mewakili distribusi statistik data yang dianalisis.

Pada uji ini digunakan 2 metode uji distribusi yaitu Metode *Chi Square* (χ^2) dan metode Smirnov-Kolmogorof. Berikut hasil perhitungan dari kedua metode :

- **Metode Chi-Square (χ^2)**

Persamaan yang digunakan pada perhitungan Uji Chi Square adalah sebagai berikut :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_f - E_f)^2}{E_f}$$

Banyak data (n) = 10

T r f i gnifik n α = 5%

Jumlah Sub Kelompok (G) = $1 + 3.3 \log n$

= $1 + 3.3 \log 10$

= \approx Ke 1 s

Parameter (p) = 2

Derajat Kebebasan (Dk) = $K - (p+1)$

= $5 - (2+1) = 2$

Nilai χ^2_{Cr} dengan jumlah data n, α % dan Dk adalah

5.9910 (berdasarkan **Tabel Lampiran A.7**)

Perhitungan kelas distribusi

Kelas distribusi = $\frac{1}{5} \times 100\% = 20\%$

Sehingga terbagi menjadi : 20%; 40%; 60%; 80%

> Persentase 20%

$T = \frac{1}{5} \times 10 = 2$ tahun

> Persentase 40%

$T = \frac{1}{2.5} \times 10 = 4$ tahun

> Persentase 60%

$T = \frac{1}{1.67} \times 10 = 6$ tahun

> Persentase 80%

$T = \frac{1}{1.25} \times 10 = 8$ tahun

Perhitungan interval kelas

> **Distribusi Normal**

Nilai K_T berdasarkan nilai T pada **Tabel 5.23**

Dengan nilai :

$$\bar{x} = 84.79$$

$$S = 22.26$$

$$X_T = \bar{x} + K_T \cdot S$$

Berikut hasil perhitungan nilai X_T .

Tabel 5.34 Hasil Perhitungan interval nilai X_T

No.	Persentase	Nilai T	K_T	X_T
1	20%	5	0.84	103.49
2	40%	2.5	0.25	90.36
3	60%	1.667	-0.25	79.23
4	80%	1.25	-0.84	66.10

Sumber : Hasil Analisa (2014)

Tabel 5.35 Hasil perhitungan χ^2 Hitung distribusi Normal

No.	Interval Kelas	Ef	Of	Of - Ef	($\frac{(Of - Ef)^2}{Ef}$)
1	> 103.49	2	3	1	0.500
2	90.36 - 103.49	2	1	-1	0.500
3	79.23 - 90.36	2	2	0	0.000
4	66.10 - 79.23	2	1	-1	0.500
5	< 66.10	2	3	1	0.500
		Jumlah	10	Nilai Hitung χ^2	2.000

Sumber : Hasil Analisa (2014)

> **Distribusi Gumbel**

Nilai K berdasarkan nilai T pada perhitungan dibawah ini :

Dengan nilai :

$$n = 10$$

$$\bar{x} = 84.79$$

$$S = 22.26$$

$$S_n = 0.4952$$

$$Y_n = 0.9497$$

$$Y_t = -\ln -\ln \frac{T}{T}$$

$$K = \frac{t^n}{n}$$

$$X_T = \frac{K}{n}$$

Berikut hasil perhitungan nilai X_T .

Tabel 5.36 Hasil perhitungan interval nilai X_T Distribusi Gumbel

No.	Persentase	Nilai T	Y_t	K	X_T
1	20%	5	1.500	1.0580	108.3386
2	40%	2.5	0.672	0.1859	88.9289
3	60%	1.667	0.087	-0.4294	75.2353
4	80%	1.25	-0.476	-1.0225	62.0338

Sumber : Hasil Analisa (2014)

Tabel 5.37 Hasil perhitungan χ^2 Hitung distribusi Gumbel

No.	Interval Kelas	Ef	Of	Of - Ef	()
1	> 108.338	2	2	0	0.000
2	88.92 - 108.338	2	2	0	0.000
3	75.23 - 88.92	2	2	0	0.000
4	62.03 - 75.23	2	2	0	0.000
5	< 62.03	2	2	0	0.000
		Jumlah	10	Nilai Hitung χ^2	0.000

Sumber : Hasil Analisa (2014)

> **Distribusi Log Pearson Tipe III**

Nilai K_T dihitung berdasarkan nilai C_s atau $G = -0.225$. Nilai T untuk berbagai periode ulang berdasarkan nilai T pada **Tabel Lampiran A.11**.

Perhitungan dihitung berdasarkan nilai :

$$\overline{\text{Log } X} = 1.91$$

$$S \text{ Log } X = 0.12$$

$$\text{Log } X_T = \overline{\text{Log}} - K_T \cdot \text{Log}$$

Tabel 5.38 Hasil perhitungan interval nilai X_T Distribusi Log Pearson III

No.	Persentase	Nilai T	Y_t	K_T	$\text{Log } X_T$	X_T
1	20%	5	1.500	0.8379	2.0131	103.0709
2	40%	2.5	0.672	0.1299	1.9296	85.0343
3	60%	1.667	0.087	-0.1061	1.9017	79.7529
4	80%	1.25	-0.476	-0.2241	1.8878	77.2366

Sumber : Hasil Analisa (2014)

Tabel 5.39 Hasil perhitungan χ^2 Hitung distribusi Log Pearson III

No.	Interval Kelas	Ef	Of	Of - Ef	()
1	> 103.07	2	3	1	0.500
2	85.034 - 103.07	2	3	1	0.500
3	79.75 - 85.034	2	0	-2	2.000
4	77.23 - 79.75	2	0	-2	2.000
5	< 77.23	2	4	2	2
		Jumlah	10	Nilai Hitung X^2	7.000

Sumber : Hasil Analisa (2014)

> Rekapirulasi Hasil Perhitungan Uji Chi Square

Berikut rekapitulasi hasil perhitungan uji Chi Square :

Tabel 5.40 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Uji Chi-Square Sub Sub DAS 1

No.	Nama Distribusi	χ^2 Hitung	χ^2 Cr	Syarat	Kesimpulan
1	Normal	2.000	5.991	$X^2 < X^2_{cr}$	Diterima
2	Gumbel	0.000	5.991	$X^2 < X^2_{cr}$	Diterima
3	Log Pearson III	7.000	5.991	$X^2 > X^2_{cr}$	Ditolak

Sumber : Hasil Analisa (2014)

- Metode Smirnov-Kolmogorof

Metode uji statistik Smirnov-Kolmogorof digunakan untuk menentukan distribusi curah hujan yang sesuai, berikut perhitungan dari masing-masing distribusi :

Tabel 5.41 Hasil pengurutan data Xi sub sub DAS 1

No.	Xi	Xi (diurutkan)	Log Xi (diurutkan)
1	106.67	116.41	2.06
2	116.41	110.20	2.04
3	67.72	106.67	2.02
4	95.34	95.34	1.97
5	61.00	86.01	1.93
6	53.76	86.01	1.93
7	86.01	67.72	1.83
8	86.01	64.81	1.81
9	64.81	61.00	1.78
10	110.20	53.76	1.73

Sumber : Hasil Analisa (2014)

Perhitungan Peluang Empiris

Perhitungan ini menggunakan pers. m. n “Weidbull”,

$$P(X_i) = \frac{n+1}{i}$$

Dimana :

n = Jumlah Data

i = Nomor urut data

> **Distribusi Normal**

Metode Perhitungan :

- Kolom [1] = Nomor urut data
- Kolom [2] = Data yang telah diurutkan (besar → kecil)
- Kolom [3] = Peluang empiris (dihitung berdasarkan perumus n „Weidbull“)

- Kolom [4] = Untuk distribusi Normal

$$T - K_T$$
, sehingga

$$= K_T - \frac{T}{n}, \text{ dimana } K_T = f(t)$$

- Kolom [5] = Peluang Teoritis

1 – Luas dibawah kurva normal sesuai dengan nilai $f(t)$, yang ditentukan dengan Tabel 2.....

- Kolom [6] = $[\Delta_i] = \text{Kolom [5]} - \text{Kolom [3]}$

- Prasyarat = Jik $\Delta_{\text{Max}} < \Delta_{\text{Kritis}}$ maka hasil uji dapat **diterima**

Tabel 5.42 Hasil perhitungan nilai AP_{Hitung} Distribusi Normal

No.	Xi	P(Xi)	f(t)	Luas dibawah Kurva Normal	P'()	ΔP
1	2	3	4		6	7
1	127.82	0.091	2.075	0.9812	0.019	-0.072
2	99.36	0.182	0.537	0.7054	0.295	0.113
3	95.49	0.273	0.328	0.6293	0.371	0.098
4	92.91	0.364	0.188	0.5753	0.425	0.061
5	90.52	0.455	0.059	0.5239	0.476	0.022
6	86.66	0.545	-0.150	0.4404	0.560	0.014
7	85.72	0.636	-0.200	0.4207	0.579	-0.057
8	81.86	0.727	-0.409	0.3409	0.659	-0.068
9	80.57	0.818	-0.479	0.3156	0.684	-0.134
10	53.37	0.909	-1.949	0.0256	0.974	0.065
					MAX	0.113

Sumber : Hasil Analisa (2014)

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai $AP_{\text{Max}} = 0.113 < AP_{\text{Kritis}} = 0.41$, maka hasil distribusi dapat **diterima**.

> **Distribusi Gumbel**

Metode Perhitungan :

- Kolom [1] = Nomor urut data

- Kolom [2] = Data yang telah diurutkan (besar \rightarrow kecil)

- Kolom [3] = Peluang empiris (dihitung berdasarkan perumus n „Weidbull“

- Kolom [4] = Untuk distribusi Normal

$$T - K_T$$
, sehingga

$$= K_T - \frac{T - K_T}{n}, \text{ dimana } K_T = f(t)$$

- Kolom [5] = Nilai pada kolom ini ditentukan berdasarkan nilai
 Y_n , S_n dan K atau $f(t)$ pada persamaan

$$K = \frac{t - n}{n}$$

$$Y_t = -Ln - Ln \frac{T}{T}$$

Dari persamaan diatas maka diperoleh nilai T .

$$= \frac{1}{T}$$

- Kolom [6] = $[\Delta_i] = \text{Kolom [5]} - \text{Kolom [3]}$

- Prasyarat = Jika $\Delta_{\text{Max}} < \Delta_{\text{Kritis}}$ maka hasil uji dapat
diterima

Tabel 5.43 Hasil perhitungan nilai AP_{Hitung} Distribusi Gumbel

No.	X_i	$P(X_i)$	$f(t)$	Y_t	T	$P'(\)$	ΔP
1	2	3	4			5	6
Diketahui : $Y_n = 0.459$; $S_n = 0.950$							
1	127.820	0.091	2.075	2.466	13.002	0.077	-0.014
2	99.361	0.182	0.537	1.005	3.273	0.306	0.124
3	95.492	0.273	0.328	0.807	2.813	0.355	0.083
4	92.906	0.364	0.188	0.674	2.506	0.399	0.035
5	90.519	0.455	0.059	0.551	2.304	0.434	-0.020
6	86.655	0.545	-0.150	0.353	1.984	0.504	-0.042
7	85.721	0.636	-0.200	0.305	1.928	0.519	-0.118
8	81.865	0.727	-0.409	0.107	1.694	0.590	-0.137
9	80.572	0.818	-0.479	0.041	1.629	0.614	-0.204
10	53.369	0.909	-1.949	-1.356	1.026	0.975	0.065
						Max	0.124

Sumber : Hasil Analisa (2014)

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai $AP_{\text{Max}} = 0.124 < AP_{\text{Kritis}}$
 $= 0.41$, maka hasil distribusi dapat **diterima**.

> **Distribusi Log Pearson III**

Metode Perhitungan :

- Kolom [1] = Nomor urut data
- Kolom [2] = Gunakan data Log Xi yang telah diurutkan (besar → kecil)
- Kolom [3] = Peluang empiris (dihitung berdasarkan perumus n „Weidbull“)
- Kolom [4] = Untuk distribusi Normal

$$\text{Log } T - \frac{\text{Log } K_T}{\text{Log } X} \text{ Log } X, \text{ sehingga}$$

$$= K_T \frac{\text{Log } T - \text{Log } K_T}{\text{Log } X}, \text{ dimana } K_T = f(t)$$
- Kolom [5] = Nilai pada kolom ini ditentukan berdasarkan nilai CS dan nilai K_T .
- Kolom [6] = $[\Delta_i] = \text{Kolom [5]} - \text{Kolom [3]}$
- Prasyarat = Jik $\Delta_{\text{Max}} < \Delta_{\text{Kritis}}$ maka hasil uji dapat **diterima**

Tabel 5.44 Hasil perhitungan nilai AP_{Hitung} Distribusi Log Pearson III

No.	Log Xi (<i>Diurutkan</i>)	P(Xi)	f(t)	P'()	ΔP
1	2	3	4	5	6
1	2.107	0.091	1.731	0.003	-0.088
2	1.997	0.182	0.576	0.296	0.114
3	1.980	0.273	0.394	0.377	0.104
4	1.968	0.364	0.269	0.438	0.074
5	1.957	0.455	0.149	0.500	0.045
6	1.938	0.545	-0.051	0.613	0.067
7	1.933	0.636	-0.100	0.643	0.006
8	1.913	0.727	-0.311	0.777	0.050
9	1.906	0.818	-0.384	0.827	0.008
10	1.727	0.909	-2.273	2.627	1.718
				MAX	1.718

Sumber : Hasil Analisa (2014)

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai $AP_{\text{Max}} = 1.718 < AP_{\text{Kritis}} = 0.41$, maka hasil distribusi dapat **ditolak**.

> **Rekapitulasi Hasil Uji Smirnov-Kolmogorof**

Berikut hasil rekapitulasi hasil perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorof pada sub sub DAS 1 (SSD Karang Mumus Hulu).

Tabel 5.45 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorof

No.	Distribusi	Parameter Uji		Hasil
		α	ΔP_{Max}	
1	Normal	0.41	0.113	Diterima
2	Gumbel	0.41	0.124	Diterima
3	Log Pearson III	0.41	1.718	Ditolak

Sumber : Hasil Analisa (2014)

5.1.1.4 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Uji Distribusi Curah Hujan Rencana

Berdasarkan metode perhitungan pada sub Bab sebelumnya (Sub Bab 4.2.2), maka hasil perhitungan hujan rencana pada seluruh Subsub DAS Karang Mumus akan disajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut :

Tabel 5.46 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Uji Chi Square

No.	Sub Sub DAS	Distribusi	Parameter Uji		Hasil
			χ^2_{Hitung}	χ^2_{Cr}	
1	SSD Karang Mumus Hulu	Normal	3	5.991	Diterima
		Gumbel	6	5.991	Ditolak
		Log Pearson III	5	5.991	Diterima
2	SSD Pampang Kiri Hulu	Normal	3	5.991	Diterima
		Gumbel	6	5.991	Ditolak
		Log Pearson III	5	5.991	Diterima
3	SSD Pampang Kiri Hilir	Normal	3	5.991	Diterima
		Gumbel	6	5.991	Ditolak
		Log Pearson III	7	5.991	Ditolak
4	SSD Pampang Kanan	Normal	3	5.991	Diterima
		Gumbel	3	5.991	Diterima
		Log Pearson III	3	5.991	Diterima
5	SSD Lubang Putang	Normal	6	5.991	Ditolak
		Gumbel	7.5	5.991	Ditolak
		Log Pearson III	13	5.991	Ditolak

No.	Sub Sub DAS	Distribusi	Parameter Uji		Hasil
			χ^2_{Hitung}	χ^2_{Cr}	
6	SSD Lantung	Normal	2	5.991	Diterima
		Gumbel	2	5.991	Diterima
		Log Pearson III	4	5.991	Diterima
7	SSD Siring	Normal	3	5.991	Diterima
		Gumbel	3	5.991	Diterima
		Log Pearson III	9	5.991	Ditolak
8	SSD Selindung	Normal	2	5.991	Diterima
		Gumbel	2	5.991	Diterima
		Log Pearson III	4	5.991	Diterima
9	SSD Tanah Merah	Normal	2	5.991	Diterima
		Gumbel	0	5.991	Diterima
		Log Pearson III	7	5.991	Ditolak
10	SSD Binangat	Normal	2	5.991	Diterima
		Gumbel	0	5.991	Diterima
		Log Pearson III	7	5.991	Ditolak
11	SSD Muang	Normal	3	5.991	Diterima
		Gumbel	5	5.991	Diterima
		Log Pearson III	6	5.991	Ditolak
12	SSD Bayur	Normal	3	5.991	Diterima
		Gumbel	5	5.991	Diterima
		Log Pearson III	6	5.991	Ditolak
13	SSD Benanga	Normal	3	5.991	Diterima
		Gumbel	1	5.991	Diterima
		Log Pearson III	4	5.991	Diterima
14	SSD Betapus	Normal	5	5.991	Diterima
		Gumbel	5	5.991	Diterima
		Log Pearson III	11	5.991	Ditolak
15	SSD Lampake	Normal	2	5.991	Diterima
		Gumbel	0	5.991	Diterima
		Log Pearson III	7	5.991	Ditolak
16	SSD Bangkuring	Normal	2	5.991	Diterima
		Gumbel	0	5.991	Diterima
		Log Pearson III	7	5.991	Ditolak
17	SSD Lingai	Normal	2	5.991	Diterima
		Gumbel	0	5.991	Diterima
		Log Pearson III	7	5.991	Ditolak
18	SSD Mugirejo	Normal	2	5.991	Diterima
		Gumbel	0	5.991	Diterima
		Log Pearson III	7	5.991	Ditolak
19	SSD Sempaja	Normal	5	5.991	Diterima
		Gumbel	1	5.991	Diterima
		Log Pearson III	5	5.991	Diterima

No.	Sub Sub DAS	Distribusi	Parameter Uji		Hasil
			χ^2_{Hitung}	χ^2_{Cr}	
20	SSD Karang Mumus Hilir	Normal	2	5.991	Diterima
		Gumbel	0	5.991	Diterima
		Log Pearson III	7	5.991	Ditolak

Sumber : Hasil Analisa (2014)

Tabel 5.47 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorof

No.	Sub Sub DAS	Distribusi	Parameter Uji		Hasil
			ΔP_{Max}	α	
1	SSD Karang Mumus Hulu	Normal	0.1128	0.41	Diterima
		Gumbel	0.1238	0.41	Diterima
		Log Pearson III	1.7177	0.41	Ditolak
2	SSD Pampang Kiri Hulu	Normal	0.1094	0.41	Diterima
		Gumbel	0.1206	0.41	Diterima
		Log Pearson III	1.7257	0.41	Ditolak
3	SSD Pampang Kiri Hilir	Normal	0.1484	0.41	Diterima
		Gumbel	0.0969	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.0836	0.41	Diterima
4	SSD Pampang Kanan	Normal	0.1125	0.41	Diterima
		Gumbel	0.0701	0.41	Diterima
		Log Pearson III	1.6325	0.41	Ditolak
5	SSD Lubang Putang	Normal	0.1203	0.41	Diterima
		Gumbel	0.1395	0.41	Diterima
		Log Pearson III	1.4692	0.41	Ditolak
6	SSD Lantung	Normal	0.0768	0.41	Diterima
		Gumbel	0.0557	0.41	Diterima
		Log Pearson III	1.5166	0.41	Ditolak
7	SSD Siring	Normal	0.1869	0.41	Diterima
		Gumbel	0.0882	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.3153	0.41	Diterima
8	SSD Selindung	Normal	0.1403	0.41	Diterima
		Gumbel	0.0749	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.1301	0.41	Diterima
9	SSD Tanah Merah	Normal	0.1357	0.41	Diterima
		Gumbel	0.1781	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.7210	0.41	Ditolak
10	SSD Binangat	Normal	0.1459	0.41	Diterima
		Gumbel	0.0851	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.4877	0.41	Ditolak
11	SSD Muang	Normal	0.1563	0.41	Diterima

No.	Sub Sub DAS	Distribusi	Parameter Uji		Hasil
			ΔP_{Max}	α	
		Gumbel	0.1027	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.1819	0.41	Diterima
		Normal	0.1563	0.41	Diterima
12	SSD Bayur	Gumbel	0.1027	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.0646	0.41	Diterima
		Normal	0.1710	0.41	Diterima
13	SSD Benanga	Gumbel	0.1031	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.2045	0.41	Diterima
		Normal	0.1530	0.41	Diterima
14	SSD Betapus	Gumbel	0.1031	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.2789	0.41	Diterima
		Normal	0.1340	0.41	Diterima
15	SSD Lampake	Gumbel	0.0708	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.7210	0.41	Ditolak
		Normal	0.1430	0.41	Diterima
16	SSD Bangkuring	Gumbel	0.0801	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.5708	0.41	Ditolak
		Normal	0.1340	0.41	Diterima
17	SSD Lingai	Gumbel	0.0708	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.7210	0.41	Ditolak
		Normal	0.1340	0.41	Diterima
18	SSD Mugirejo	Gumbel	0.0708	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.7210	0.41	Ditolak
		Normal	0.1659	0.41	Diterima
19	SSD Sempaja	Gumbel	0.1107	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.2449	0.41	Diterima
		Normal	0.1340	0.41	Diterima
20	SSD Karang Mumus Hilir	Gumbel	0.0708	0.41	Diterima
		Log Pearson III	0.7210	0.41	Ditolak
		Normal	0.1340	0.41	Diterima

Sumber : Hasil Analisa (2014)

Tabel 5.48 Rekapitulasi Hasil Uji Chi-Square dan Smirnov-Kolmogorof

No.	Sub Sub DAS	Distribusi	Hasil Uji	
			Chi Square	Smirnov - Kolmogorof
1	SSD Karang Mumus Hulu	Normal	Diterima	Diterima
		Gumbel	Ditolak	Diterima
		Log Pearson III	Diterima	Ditolak
2	SSD Pampang Kiri Hulu	Normal	Diterima	Diterima

No.	Sub Sub DAS	Distribusi	Hasil Uji	
			Chi Square	Smirnov - Kolmogorof
3	SSD Pampang Kiri Hilir	Gumbel	Ditolak	Diterima
		Log Pearson III	Diterima	Ditolak
		Normal	Diterima	Diterima
4	SSD Pampang Kanan	Gumbel	Ditolak	Diterima
		Log Pearson III	Ditolak	Diterima
		Normal	Diterima	Diterima
5	SSD Lubang Putang	Gumbel	Ditolak	Diterima
		Log Pearson III	Ditolak	Ditolak
		Normal	Diterima	Diterima
6	SSD Lantung	Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Diterima	Ditolak
		Normal	Diterima	Diterima
7	SSD Siring	Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Ditolak	Diterima
		Normal	Diterima	Diterima
8	SSD Selindung	Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Diterima	Diterima
		Normal	Diterima	Diterima
9	SSD Tanah Merah	Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Ditolak	Ditolak
		Normal	Diterima	Diterima
10	SSD Binangat	Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Ditolak	Ditolak
		Normal	Diterima	Diterima
11	SSD Muang	Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Ditolak	Diterima
		Normal	Diterima	Diterima
12	SSD Bayur	Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Ditolak	Diterima
		Normal	Diterima	Diterima
13	SSD Benanga	Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Diterima	Diterima
		Normal	Diterima	Diterima
14	SSD Betapus	Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Ditolak	Diterima
		Normal	Diterima	Diterima
15	SSD Lampake	Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Ditolak	Ditolak
		Normal	Diterima	Diterima

No.	Sub Sub DAS	Distribusi	Hasil Uji	
			Chi Square	Smirnov - Kolmogorof
16	SSD Bangkuring	Normal	Diterima	Diterima
		Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Ditolak	Ditolak
17	SSD Lingai	Normal	Diterima	Diterima
		Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Ditolak	Ditolak
18	SSD Mugirejo	Normal	Diterima	Diterima
		Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Ditolak	Ditolak
19	SSD Sempaja	Normal	Diterima	Diterima
		Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Diterima	Diterima
20	SSD Karang Mumus Hilir	Normal	Diterima	Diterima
		Gumbel	Diterima	Diterima
		Log Pearson III	Ditolak	Ditolak

Sumber : Hasil Analisa, 2014

Tabel 5.49 Rekapitulasi Hasil Distribusi Hujan Terpilih

No.	Sub Sub DAS	Nama Distribusi Terpilih
1	SSD Karang Mumus Hulu	Normal
2	SSD Pampang Kiri Hulu	Normal
3	SSD Pampang Kiri Hilir	Normal
4	SSD Pampang Kanan	Gumbel
5	SSD Lubang Putang	Gumbel
6	SSD Lantung	Gumbel
7	SSD Siring	Gumbel
8	SSD Selindung	Gumbel
9	SSD Tanah Merah	Gumbel
10	SSD Binangat	Gumbel
11	SSD Muang	Gumbel
12	SSD Bayur	Gumbel
13	SSD Benanga	Gumbel
14	SSD Betapus	Gumbel
15	SSD Lampake	Gumbel
16	SSD Bangkuring	Gumbel
17	SSD Lingai	Gumbel

18	SSD Mugirejo	Gumbel
19	SSD Sempaja	Gumbel
20	SSD Karang Mumus Hilir	Gumbel

Sumber : Hasil Analisa (2014)

5.1.2 Perhitungan Hujan Jam-jam'an

Perhitungan hujan jam-jaman digunakan untuk mentransformasikan curah hujan rencana mejadi debit banjir rencana. Dalam perhitungan hujan jam-jaman, penelitian ini menggunakan distribusi hujan dengan durasi 6 jam menggunakan perumusan Manonobe.

Prosentase distribusi yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan Manonobe sebagai berikut (Sosrodarsono, 2006) :

$$R_t = \frac{R_{24}}{T} \left(\frac{T}{t} \right)^{1/t_c}$$

Dimana :

R_t = Rerata hujan dari awal sampai jam ke-t (mm/jam)

t_c = Waktu konsentrasi hujan

R_{24} = Curah Hujan Maksimum dalam 24 jam

T = Durasi Hujan

A. Perhitungan Curah Hujan Rata-rata Selama T Jam

Untuk waktu hujan dengan durasi $T = 6$ jam, maka :

$$T = 1 \text{ Jam} \rightarrow R_T = \frac{R_{24}}{T} \left(\frac{T}{t} \right)^{1/t_c} = 0.550R_{24}$$

$$T = 1 \text{ Jam} \rightarrow R_T = \frac{R_{24}}{T} \left(\frac{T}{t} \right)^{1/t_c} = 0.346R_{24}$$

$$T = 1 \text{ Jam} \rightarrow R_T = \frac{R_{24}}{T} \left(\frac{T}{t} \right)^{1/t_c} = 0.264R_{24}$$

$$T = 1 \text{ Jam} \rightarrow R_T = \frac{R_{24}}{T} \left(\frac{T}{t} \right)^{1/t_c} = 0.218R_{24}$$

$$T = 1 \text{ Jam} \rightarrow R_T = \frac{R_{24}}{T} \left(\frac{T}{t} \right)^{1/t_c} = 0.188R_{24}$$

$$T = 1 \text{ Jam} \rightarrow R_T = \frac{R_{24}}{T} \left(\frac{T}{t} \right)^{1/t_c} = 0.166R_{24}$$

B. Perhitungan Curah Hujan Rata-rata pada t Jam

Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\overline{R}_T = \frac{R_T}{T} - \frac{R_{(T-1)}}{(T-1)}$$

Dimana :

\overline{R}_T = Rata-rata hujan sampai jam ke-T (mm)

R_T = Tinggi hujan sampai jam ke-T (mm)

T = Waktu lamanya hujan

$R_{(T-1)}$ = Rata-rata curah hujan awal sampai jam ke-(T-1)

Hasil perhitungan distribusi curah hujan :

$T = 1$ Jam

$$\overline{R}_T = \frac{R_T}{T} - \left(\frac{R_{(T-1)}}{(T-1)} \right)$$
$$= \frac{1}{1} - \left(\frac{0}{0} \right)$$
$$= 1 \approx 100\%$$

$T = 2$ Jam

$$\overline{R}_T = \frac{R_T}{T} - \left(\frac{R_{(T-1)}}{(T-1)} \right)$$
$$= \frac{2}{2} - \left(\frac{1}{1} \right)$$
$$= 1 - 1 = 0 \approx 0\%$$

$T = 3$ Jam

$$\overline{R}_T = \frac{R_T}{T} - \left(\frac{R_{(T-1)}}{(T-1)} \right)$$
$$= \frac{3}{3} - \left(\frac{2}{2} \right)$$
$$= 1 - 1 = 0 \approx 0\%$$

$T = 4$ Jam

$$\overline{R}_T = \frac{R_T}{T} - \left(\frac{R_{(T-1)}}{(T-1)} \right)$$
$$= \frac{4}{4} - \left(\frac{3}{3} \right)$$
$$= 1 - 1 = 0 \approx 0\%$$

$T = 5$ Jam

$$\overline{R}_T = \frac{R_T}{T} - \left(\frac{R_{(T-1)}}{(T-1)} \right)$$
$$= \frac{5}{5} - \left(\frac{4}{4} \right)$$
$$= 1 - 1 = 0 \approx 0\%$$

$$\begin{aligned} T &= 6 \text{ Jam} \\ \frac{1}{T} &= \frac{1}{6} - \left(\frac{1}{6} \right) \cdot 0.188 \\ &= \approx \% \end{aligned}$$

Tabel 5.50 Rekapitulasi Hasil Pola Distribusi Hujan Jam-jam'an

No.	Waktu (T)	RT	
	Jam	(mm/jam)	%
1	1	0.550	55.0
2	2	0.347	14.2
3	3	0.265	10.0
4	4	0.218	8.00
5	5	0.188	6.80
6	6	0.167	5.60

Sumber : Hasil Analisa (2014)

Tabel 5.51 Distribusi Hujan Jam-jam'an pada Subsub DAS

No.	Subsub DAS	Hujan Rencana	Periode Ulang	Hujan Jam-jam'an					
		R ₂₄		0 - 1 Jam	1 - 2 Jam	2 - 3 Jam	3 - 4 Jam	4 - 5 Jam	5 - 6 Jam
		(mm)	Tahun	1	2	3	4	5	6
	SSD Karang Mumus Hulu	2	89.43	49.19	31.03	23.70	19.50	16.81	14.93
		5	104.97	57.73	36.42	27.82	22.88	19.73	17.53
		10	113.11	62.21	39.25	29.97	24.66	21.26	18.89
		20	119.77	65.87	41.56	31.74	26.11	22.52	20.00
		50	127.35	70.04	44.19	33.75	27.76	23.94	21.27
		100	132.53	72.89	45.99	35.12	28.89	24.92	22.13
	SSD Pampang Kiri Hulu	2	89.06	48.98	30.90	23.60	19.42	16.74	14.87
		5	104.52	57.49	36.27	27.70	22.79	19.65	17.45
		10	112.62	61.94	39.08	29.84	24.55	21.17	18.81
		20	119.24	65.58	41.38	31.60	26.00	22.42	19.91
		50	126.79	69.73	44.00	33.60	27.64	23.84	21.17
		100	131.94	72.57	45.78	34.96	28.76	24.81	22.03

No.	Subsub DAS	Hujan Rencana	Periode Ulang	Hujan Jam-jam'an					
		R ₂₄		0 - 1 Jam	1 - 2 Jam	2 - 3 Jam	3 - 4 Jam	4 - 5 Jam	5 - 6 Jam
		(mm)	Tahun	1	2	3	4	5	6
	SSD Pampang Kiri Hilir	2	81.90	45.04	28.42	21.70	17.85	15.40	13.68
		5	88.64	48.75	30.76	23.49	19.32	16.66	14.80
		10	92.16	50.69	31.98	24.42	20.09	17.33	15.39
		20	95.05	52.28	32.98	25.19	20.72	17.87	15.87
		50	98.34	54.09	34.12	26.06	21.44	18.49	16.42
		100	100.59	55.32	34.90	26.66	21.93	18.91	16.80
	SSD Pampang Kanan	2	73.99	40.70	25.67	19.61	16.13	13.91	12.36
		5	93.25	51.29	32.36	24.71	20.33	17.53	15.57
		10	106.01	58.30	36.78	28.09	23.11	19.93	17.70
		20	118.24	65.03	41.03	31.33	25.78	22.23	19.75
		50	134.07	73.74	46.52	35.53	29.23	25.21	22.39
		100	145.94	80.27	50.64	38.67	31.81	27.44	24.37
	SSD Lubang Putang	2	73.93	40.66	25.65	19.59	16.12	13.90	12.35
		5	82.39	45.31	28.59	21.83	17.96	15.49	13.76
		10	87.99	48.39	30.53	23.32	19.18	16.54	14.69
		20	93.36	51.35	32.40	24.74	20.35	17.55	15.59
		50	100.31	55.17	34.81	26.58	21.87	18.86	16.75
		100	105.52	58.04	36.62	27.96	23.00	19.84	17.62
	SSD Lantung	2	60.35	33.19	20.94	15.99	13.16	11.35	10.08
		5	78.40	43.12	27.20	20.78	17.09	14.74	13.09
		10	90.35	49.69	31.35	23.94	19.70	16.99	15.09
		20	101.81	56.00	35.33	26.98	22.20	19.14	17.00
		50	116.65	64.16	40.48	30.91	25.43	21.93	19.48
		100	127.77	70.27	44.34	33.86	27.85	24.02	21.34
	SSD Siring	2	68.81	37.85	23.88	18.24	15.00	12.94	11.49
		5	77.51	42.63	26.90	20.54	16.90	14.57	12.94
		10	83.27	45.80	28.89	22.07	18.15	15.65	13.91
		20	88.79	48.84	30.81	23.53	19.36	16.69	14.83
		50	95.94	52.77	33.29	25.43	20.92	18.04	16.02

No.	Subsub DAS	Hujan Rencana	Periode Ulang	Hujan Jam-jam'an					
		R ₂₄		0 - 1 Jam	1 - 2 Jam	2 - 3 Jam	3 - 4 Jam	4 - 5 Jam	5 - 6 Jam
		(mm)	Tahun	1	2	3	4	5	6
	SSD Selindung	100	101.30	55.72	35.15	26.84	22.08	19.04	16.92
		2	62.42	34.33	21.66	16.54	13.61	11.74	10.42
		5	84.72	46.60	29.40	22.45	18.47	15.93	14.15
		10	99.48	54.72	34.52	26.36	21.69	18.70	16.61
		20	113.64	62.50	39.43	30.12	24.77	21.36	18.98
		50	131.97	72.59	45.79	34.97	28.77	24.81	22.04
	SSD Tanah Merah	100	145.71	80.14	50.56	38.61	31.76	27.39	24.33
		2	86.09	47.35	29.87	22.81	18.77	16.18	14.38
		5	113.94	62.67	39.54	30.20	24.84	21.42	19.03
		10	132.39	72.81	45.94	35.08	28.86	24.89	22.11
		20	150.08	82.54	52.08	39.77	32.72	28.22	25.06
		50	172.98	95.14	60.02	45.84	37.71	32.52	28.89
	SSD Binangat	100	190.14	104.58	65.98	50.39	41.45	35.75	31.75
		2	80.93	44.51	28.08	21.45	17.64	15.21	13.51
		5	106.89	58.79	37.09	28.32	23.30	20.09	17.85
		10	124.07	68.24	43.05	32.88	27.05	23.33	20.72
		20	140.56	77.31	48.77	37.25	30.64	26.43	23.47
		50	161.90	89.05	56.18	42.90	35.29	30.44	27.04
	SSD Muang	100	177.89	97.84	61.73	47.14	38.78	33.44	29.71
		2	81.36	44.75	28.23	21.56	17.74	15.30	13.59
		5	91.02	50.06	31.58	24.12	19.84	17.11	15.20
		10	97.41	53.58	33.80	25.81	21.24	18.31	16.27
		20	103.55	56.95	35.93	27.44	22.57	19.47	17.29
		50	111.48	61.32	38.68	29.54	24.30	20.96	18.62
	SSD Bayur	100	117.43	64.59	40.75	31.12	25.60	22.08	19.61
		2	81.36	44.75	28.23	21.56	17.74	15.30	13.59
		5	91.02	50.06	31.58	24.12	19.84	17.11	15.20
		10	97.41	53.57	33.80	25.81	21.23	18.31	16.27
		20	103.54	56.95	35.93	27.44	22.57	19.47	17.29

No.	Subsub DAS	Hujan Rencana	Periode Ulang	Hujan Jam-jam'an					
		R ₂₄		0 - 1 Jam	1 - 2 Jam	2 - 3 Jam	3 - 4 Jam	4 - 5 Jam	5 - 6 Jam
		(mm)	Tahun	1	2	3	4	5	6
	SSD Benanga	50	111.48	61.31	38.68	29.54	24.30	20.96	18.62
		100	117.43	64.58	40.75	31.12	25.60	22.08	19.61
		2	60.06	33.03	20.84	15.92	13.09	11.29	10.03
		5	82.69	45.48	28.69	21.91	18.03	15.55	13.81
		10	97.67	53.72	33.89	25.88	21.29	18.36	16.31
		20	112.04	61.62	38.88	29.69	24.42	21.06	18.71
		50	130.64	71.85	45.33	34.62	28.48	24.56	21.82
		100	144.58	79.52	50.17	38.31	31.52	27.18	24.14
	SSD Betapus	2	70.65	38.86	24.52	18.72	15.40	13.28	11.80
		5	78.27	43.05	27.16	20.74	17.06	14.71	13.07
		10	83.31	45.82	28.91	22.08	18.16	15.66	13.91
		20	88.14	48.48	30.59	23.36	19.22	16.57	14.72
		50	94.40	51.92	32.76	25.02	20.58	17.75	15.77
		100	99.09	54.50	34.39	26.26	21.60	18.63	16.55
	SSD Lampake	2	86.12	47.36	29.88	22.82	18.77	16.19	14.38
		5	113.99	62.69	39.55	30.21	24.85	21.43	19.04
		10	132.44	72.84	45.96	35.10	28.87	24.90	22.12
		20	150.13	82.57	52.10	39.79	32.73	28.23	25.07
		50	173.04	95.17	60.05	45.86	37.72	32.53	28.90
		100	190.21	104.62	66.00	50.41	41.47	35.76	31.77
	SSD Bangkuring	2	82.62	45.44	28.67	21.89	18.01	15.53	13.80
		5	109.18	60.05	37.89	28.93	23.80	20.53	18.23
		10	126.77	69.73	43.99	33.59	27.64	23.83	21.17
		20	143.64	79.00	49.84	38.07	31.31	27.01	23.99
		50	165.48	91.02	57.42	43.85	36.08	31.11	27.64
		100	181.85	100.02	63.10	48.19	39.64	34.19	30.37
	SSD Lingai	2	86.11	47.36	29.88	22.82	18.77	16.19	14.38
		5	113.98	62.69	39.55	30.20	24.85	21.43	19.03
		10	132.43	72.83	45.95	35.09	28.87	24.90	22.12

No.	Subsub DAS	Hujan Rencana	Periode Ulang	Hujan Jam-jam'an					
		R ₂₄		0 - 1 Jam	1 - 2 Jam	2 - 3 Jam	3 - 4 Jam	4 - 5 Jam	5 - 6 Jam
		(mm)	Tahun	1	2	3	4	5	6
		20	150.12	82.57	52.09	39.78	32.73	28.22	25.07
		50	173.03	95.17	60.04	45.85	37.72	32.53	28.90
		100	190.20	104.61	66.00	50.40	41.46	35.76	31.76
	SSD Mugirejo	2	86.06	47.33	29.86	22.81	18.76	16.18	14.37
		5	113.91	62.65	39.53	30.19	24.83	21.41	19.02
		10	132.35	72.79	45.92	35.07	28.85	24.88	22.10
		20	150.03	82.52	52.06	39.76	32.71	28.21	25.06
		50	172.93	95.11	60.01	45.83	37.70	32.51	28.88
		100	190.08	104.54	65.96	50.37	41.44	35.74	31.74
	SSD Sempaja	2	71.81	39.49	24.92	19.03	15.65	13.50	11.99
		5	94.94	52.22	32.95	25.16	20.70	17.85	15.86
		10	110.26	60.64	38.26	29.22	24.04	20.73	18.41
		20	124.96	68.73	43.36	33.11	27.24	23.49	20.87
		50	143.98	79.19	49.96	38.15	31.39	27.07	24.04
		100	158.23	87.03	54.91	41.93	34.49	29.75	26.42
	SSD Karang Mumus Hilir	2	86.09	47.35	29.87	22.81	18.77	16.18	14.38
		5	113.95	62.67	39.54	30.20	24.84	21.42	19.03
		10	132.39	72.82	45.94	35.08	28.86	24.89	22.11
		20	150.08	82.55	52.08	39.77	32.72	28.22	25.06
		50	172.99	95.14	60.03	45.84	37.71	32.52	28.89
		100	190.15	104.58	65.98	50.39	41.45	35.75	31.75

Sumber : Hasil Analisa 2014

5.1.3 Perhitungan Parameter Perhitungan Debit pada HEC-HMS

Pemodelan debit banjir rencana menggunakan bantuan software HEC-HMS 4.0. Dalam pemodelan ini digunakan metode pemodelan yaitu Metode SCS (*Soil Conservation Service*) *Unit Hydrograph Model*.

Pada proses pemodelan dibutuhkan nilai-nilai parameter tertentu sesuai dengan kebutuhan masing-masing metode, berikut perhitungan dari beberapa parameter tersebut :

Time Lag (Selang Waktu)

Untuk wilayah DAS yang tidak terukur, SCS menyarankan selang waktu Unit Hidrograf terkait dengan waktu konsentrasi (t_c), sebagai berikut :

$$t_{lag} = 0.6t_c$$

Waktu konsentrasi (t_c) adalah sebuah kuasi aspek fisik yang berdasarkan kepada parameter yang bisa diestimasi sebagai berikut :

$$t_c = t_{sheet} + t_{channel}$$

$$t_{sheet} = \frac{NL}{()}$$

$$t_{channel} = \frac{L}{W}$$

$$W = 20 \left(\frac{\Delta H}{L} \right)^{0.60}$$

dimana :

t_{sheet} = Jumlah waktu perjalanan air dalam segmen aliran permukaan lahan suatu DAS

$t_{shallow}$ = jumlah waktu perjalanan air pada segmen aliran dangkal, pada jalanan, selokan, parit dangkal maupun anak sungai.

$t_{channel}$ = Jumlah waktu perjalanan air pada segmen saluran

N = Koefisien Kekasaran Daerah Aliran
(Berdasarkan *Technical Reference Manual* HEC-HMS, “Overland-flow roughness coefficients for sheet-flow modelling”, USACE 1998).

L = Panjang Aliran

P_2 = Hujan Rencana Periode Ulang 2 (dalam inci)

S = Slope (Kemiringan lahan)

W = Kecepatan Aliran (m/dt)

ΔH = Beda Tinggi titik terjauh aliran dan outlet sungai

Berikut contoh perhitungan pada Subsub DAS Karang Mumus

Hulu :

Diketahui :

Perhitungan t_{sheet}

N = 0.8 (Hutan)

L_{Sheet} = 334.147 m = 13155.37 Inch

P_2 = 89.427 mm = 3.514 Inchi

El_{Hulu} = 110 m = 4330.7 Inchi

El_{Hilir} = 74.5 m = 2933.065 Inchi

ΔH_{Sheet} = 4330.7 Inchi – 2933.065 Inchi = 1397.635 Inchi

$S = \frac{\Delta H}{L} = \frac{1397.635}{13155.37} = 0.106$

$t_{\text{sheet}} = \frac{NL}{()}$
 $= \frac{0.8 \times 13155.37}{()} = 27.910 \text{ menit} = 0.252 \text{ Jam}$

Perhitungan t_{channel}

L_{Channel} = 6796.115 m

El_{Hulu} = 74 m

El_{Hilir} = 9.928 m

$\Delta H_{\text{Channel}}$ = 74m – 9.928m = 64.072m

$W = 20 \left(\frac{\Delta H}{L} \right)^{0.60}$
 $= 20 \left(\frac{64.072}{6796.115} \right)^{0.60}$
 $= 5579.435 \text{ detik} = 6.474 \text{ Jam}$

$t_c = 0.252 + 6.474 \text{ Jam}$
 $= 6.726 \text{ Jam}$

Berikut rekapitulasi hasil perhitungan *Time Lag* masing-masing Subsub DAS :

Tabel 5.52 Hasil Perhitungan Waktu Konsentrasi (Lahan)

No.	Sub Sub DAS	Panjang Aliran Lahan (L_{Sheet}) (inci)	Elevasi Hulu (inci)	Elevasi Hilir (inci)	ΔH	Kemiringan Lahan (S_{Sheet})	Hujan Periode 2th (inci)	Koefisien Kekasaran Lahan (N)	t_{sheet} (menit) (jam)	
1	SSD Karang Mumus Hulu	13155.37	4330.70	2933.07	1397.64	0.11	3.515	0.800	15.115	0.252
2	SSD Pampang Kiri Hulu	19980.24	7874.00	4133.85	3740.15	0.19	3.500	0.400	9.689	0.161
3	SSD Pampang Kiri Hilir	19681.93	1968.50	905.51	1062.99	0.05	3.219	0.400	16.413	0.274
4	SSD Pampang Kanan	28621.83	2952.75	1968.50	984.25	0.03	2.908	0.400	27.910	0.465
5	SSD Lubang Putang	30834.31	6692.90	4921.25	1771.65	0.06	2.905	0.800	42.020	0.700
6	SSD Lantung	10480.14	4921.25	2795.27	2125.98	0.20	2.372	0.800	11.843	0.197
7	SSD Siring	787.40	2952.75	2913.38	39.37	0.05	2.704	0.240	0.935	0.016
8	SSD Selindung	10060.53	3543.30	2755.90	787.40	0.08	2.453	0.800	16.496	0.275
9	SSD Tanah Merah	9290.73	3543.30	2913.38	629.92	0.07	3.383	0.400	8.017	0.134
10	SSD Binangat	47026.17	2165.35	984.25	1181.10	0.03	3.180	0.240	29.917	0.499
11	SSD Muang	15749.85	6692.90	4763.77	1929.13	0.12	3.198	0.800	17.288	0.288
12	SSD Bayur	30435.65	8858.25	3425.19	5433.06	0.18	3.197	0.800	25.189	0.420
13A	SSD Benanga A	11713.76	2952.75	1062.99	1889.76	0.16	2.360	0.400	8.168	0.136
13B	SSD Benanga B	45878.25	1968.50	416.10	1552.40	0.03	2.360	0.400	45.476	0.758
13C	SSD Benanga C	33369.62	472.44	327.36	145.08	0.00	2.360	0.400	80.100	1.335
13D	SSD Benanga D	26283.41	275.59	256.30	19.29	0.00	2.360	0.400	134.811	2.247
14	SSD Betapus	58002.17	4409.44	1023.62	3385.82	0.06	2.777	0.400	40.668	0.678
15	SSD Lampake	10443.64	2755.90	1929.13	826.77	0.08	3.384	0.240	5.498	0.092
16	SSD Bangkuring	16245.64	2952.75	748.03	2204.72	0.14	3.247	0.240	6.443	0.107

No.	Sub Sub DAS	Panjang Aliran Lahan (L_{Sheet}) (inci)	Elevasi Hulu (inci)	Elevasi Hilir (inci)	ΔH	Kemiringan Lahan (S_{Sheet})	Hujan Periode 2th (inci)	Koefisien Kekasaran Lahan (N)	t_{sheet}	
									(menit)	(jam)
17	SSD Lingai	10833.01	1771.65	944.88	826.77	0.08	3.384	0.400	8.645	0.144
18	SSD Mugirejo	4840.54	1811.02	964.57	846.46	0.17	3.382	0.011	0.184	0.003
19	SSD Sempaja	20313.27	5905.50	2706.69	3198.81	0.16	2.822	0.400	11.717	0.195
20A	SSD Karang Mumus Hilir	2560.43	767.72	629.92	137.80	0.05	3.383	0.011	0.177	0.003
20B	SSD Karang Mumus Hilir	12603.71	1574.80	718.50	856.30	0.07	3.383	0.011	0.577	0.010
Sumber : Hasil Analisa (2014)										

Tabel 5.53 Hasil Perhitungan Waktu Konsentrasi (Sungai)

No.	Sub Sub DAS	Panjang Sungai ($L_{Channel}$) (inci)	Elevasi Hulu (inci)	Elevasi Hilir (inci)	ΔH (inci)	Kemiringan Sungai (S_{Sheet})	$T_{channel}$	
							(detik)	(jam)
1	SSD Karang Mumus Hulu	16551.450	74.500	11.007	63.493	0.004	23306.262	6.474
2	SSD Pampang Kiri Hulu	23418.700	105.000	11.417	93.583	0.004	32177.592	8.938
3	SSD Pampang Kiri Hilir	10095.920	23.000	7.372	15.628	0.002	24505.138	6.807
4	SSD Pampang Kanan	5127.000	50.000	10.513	39.487	0.008	4752.017	1.320
5	SSD Lubang Putang	11446.110	125.000	11.179	113.821	0.010	9100.995	2.528
6	SSD Lantung	9771.170	71.000	10.701	60.299	0.006	10344.188	2.873

No.	Sub Sub DAS	Panjang Sungai (L_{Channel}) (inci)	Elevasi Hulu (inci)	Elevasi Hilir (inci)	ΔH (inci)	Kemiringan Sungai (S_{Sheet})	T_{channel}	
							(detik)	(jam)
7	SSD Siring	6796.155	74.000	9.923	64.077	0.009	5579.187	1.550
8	SSD Selindung	5928.993	70.000	10.659	59.341	0.010	4695.968	1.304
9	SSD Tanah Merah	5705.713	74.000	11.919	62.081	0.011	4298.225	1.194
10	SSD Binangat	7761.313	25.000	9.923	15.077	0.002	16439.231	4.566
11	SSD Muang	8676.026	121.000	6.831	114.169	0.013	5831.166	1.620
12	SSD Bayur	8003.576	87.000	6.508	80.492	0.010	6320.823	1.756
13A	SSD Benanga A	2239.790	10.569	5.092	5.477	0.002	4132.123	1.148
13B	SSD Benanga B	1179.540	10.569	6.835	3.734	0.003	1863.776	0.518
13C	SSD Benanga C	2793.970	8.315	2.853	5.462	0.002	5895.427	1.638
13D	SSD Benanga D	3271.890	6.511	5.094	1.417	0.000	17053.269	4.737
14	SSD Betapus	2839.180	26.000	5.892	20.108	0.007	2767.282	0.769
15	SSD Lampake	7463.243	49.000	5.092	43.908	0.006	8130.679	2.259
16	SSD Bangkuring	3078.305	19.000	4.996	14.004	0.005	3912.991	1.087
17	SSD Lingai	1544.963	24.000	3.834	20.166	0.013	1043.429	0.290
18	SSD Mugirejo	3120.466	24.500	3.385	21.115	0.007	3125.865	0.868
19	SSD Sempaja	10162.252	68.750	3.126	65.624	0.006	10469.255	2.908
20A	SSD Karang Mumus Hilir	2777.221	16.000	2.583	13.417	0.005	3405.332	0.946
20B	SSD Karang Mumus Hilir	5660.533	18.250	1.076	17.174	0.003	9175.273	2.549

Sumber : Hasil Analisa 2014

Curve Number (CN)

Pada penelitian ini, kondisi tutupan lahan sub sub DAS sangat bervariasi, sehingga menyebabkan perlunya perhitungan Curve Number gabungan (*Composite*). Persamaan yang digunakan adalah :

$$N_{omposite} = \frac{\sum A_i N_i}{A_i}$$

(Sumber : HEC-HMS *Technical Refence Manual* Hal : 38)

dimana :

$CN_{Composite}$ = Curve Number Komposit (gabungan)

A_i = Luas Area suatu wilayah/DAS

CN_i = Nilai CN pada area dalam suatu wilayah/DAS

Berikut perhitungan nilai $CN_{Composite}$ masing-masing Sub sub DAS :

Tabel 5.55 Nilai Curve Number (CN) Masing-masing Subsub DAS

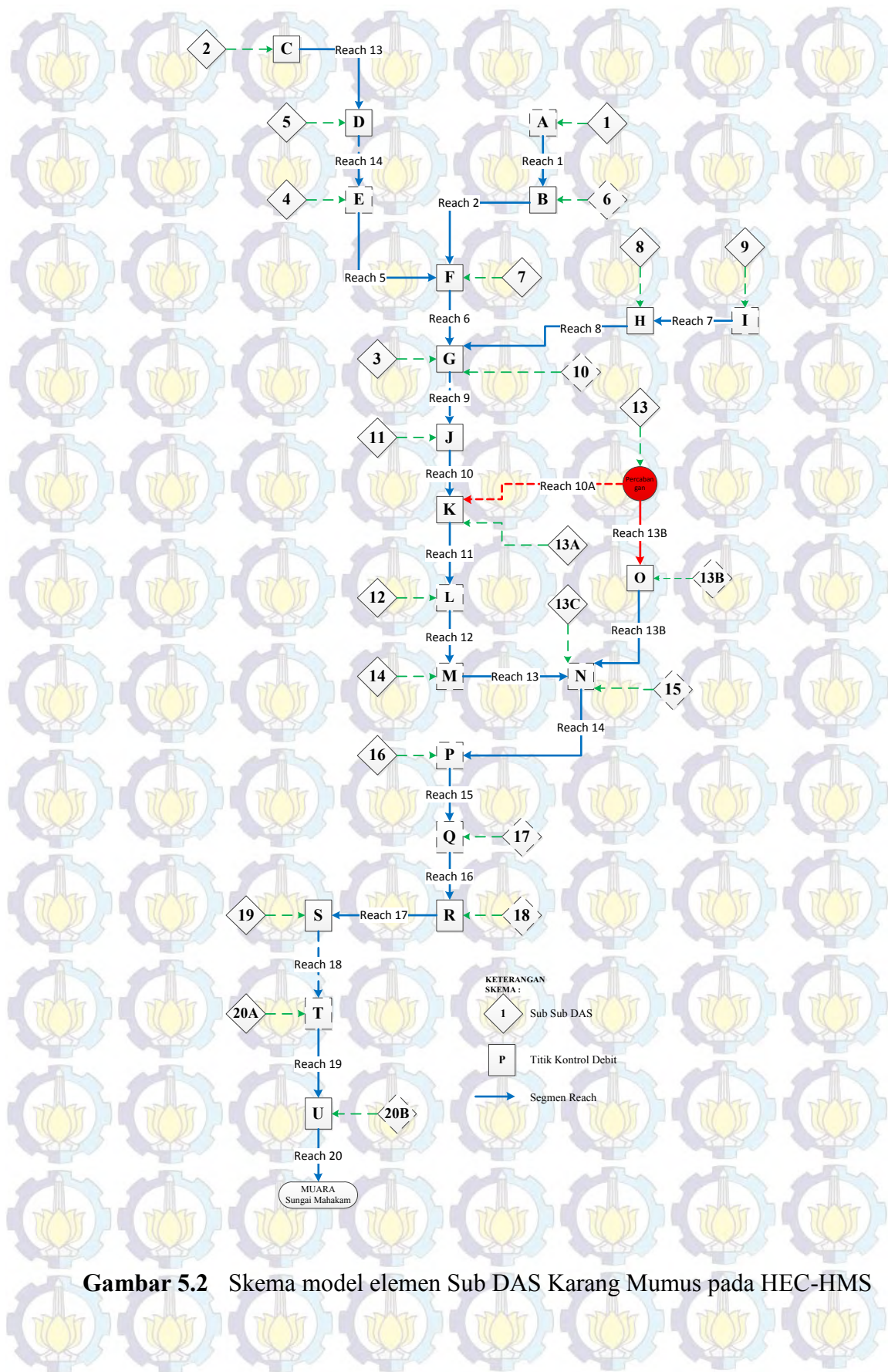
No.	Sub Sub DAS	Nilai Curve Number (CN)	Impervious
1	SSD Karang Mumus Hulu	44.103	0.733
2	SSD Pampang Kiri Hulu	40.663	0.000
3	SSD Pampang Kiri Hilir	57.619	1.928
4	SSD Pampang Kanan	47.851	0.000
5	SSD Lubang Putang	41.964	0.000
6	SSD Lantung	45.318	1.340
7	SSD Siring	51.035	3.044
8	SSD Selindung	50.867	2.796
9	SSD Tanah Merah	46.275	0.348
10	SSD Binangat	58.284	4.636
11	SSD Muang	44.893	0.572
12	SSD Bayur	43.835	0.754
13A	SSD Benanga A	71.723	4.023
13B	SSD Benanga B	71.723	4.023
13C	SSD Benanga C	71.723	4.023
13D	SSD Benanga D	71.723	4.023

No.	Sub Sub DAS	Nilai Curve Number (CN)	Impervious
14	SSD Betapus	58.631	8.052
15	SSD Lampake	52.051	9.162
16	SSD Bangkuring	44.908	12.792
17	SSD Lingai	57.263	22.023
18	SSD Mugirejo	61.211	29.969
19	SSD Sempaja	54.334	16.005
20A	SSD Karang Mumus Hilir	69.183	48.509
20B	SSD Karang Mumus Hilir	69.183	48.509

Sumber : Hasil Analisa (2014)

5.1.4 Pemodelan Debit Kondisi Eksisting menggunakan HEC-HMS

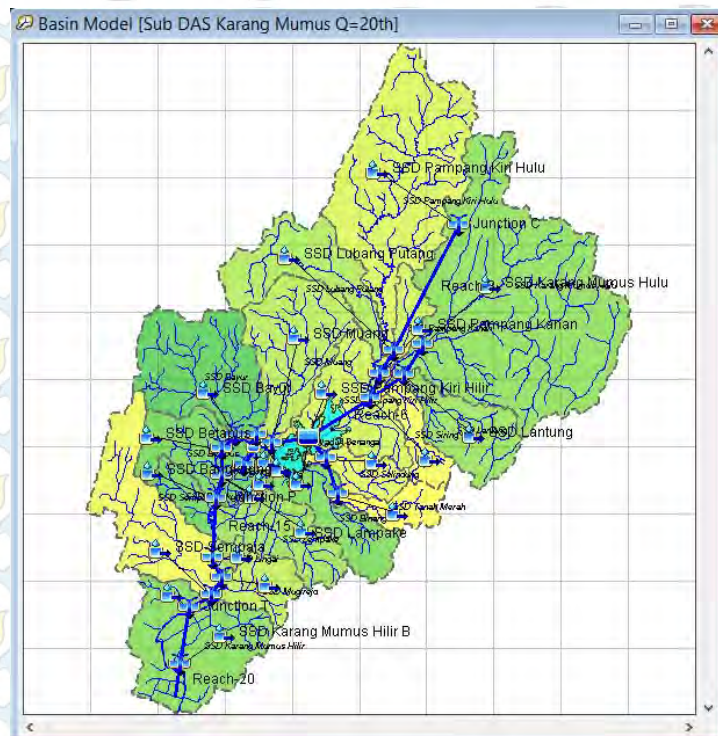
Pemodelan Debit Kondisi Eksisting digunakan untuk melihat kemampuan sungai dan waduk eksisting dalam menampung debit yang mengalir berdasarkan curah hujan periode ulang rencana. Periode ulang rencana yang digunakan adalah periode ulang 2th, 5th, 10th, 20th dan 50th. Untuk memudahkan pengerjaan, maka disusun skema model sebagai berikut.



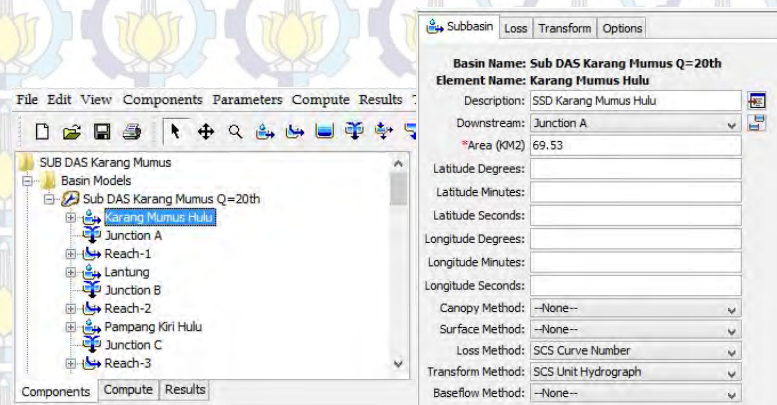
Gambar 5.2 Skema model elemen Sub DAS Karang Mumus pada HEC-HMS

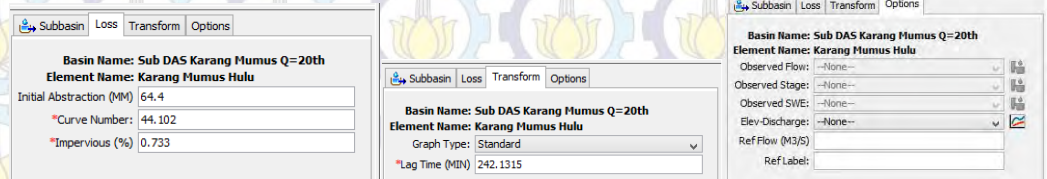
5.1.4.1 *Basin Model* (Model Daerah Tangkapan Air)

Representasi fisik dari *catchment area* (daerah tangkapan) didefinisikan dalam *Basin Model*. Elemen-elemen hidrologi berhubungan dalam jaringan yang mensimulasikan sebuah proses limpasan langsung (*run off*). Elemen-elemen yang digunakan untuk mensimulasikan limpasan adalah subbasin, reservoir, reach dan junction.



Gambar 5.3 Pemodelan Basin Karang Mumus pada HEC-HMS





Gambar 5.4 Input Parameter *Basin Model* pada HEC-HMS

5.1.4.2 *Reservoir (Tampungan Air)*

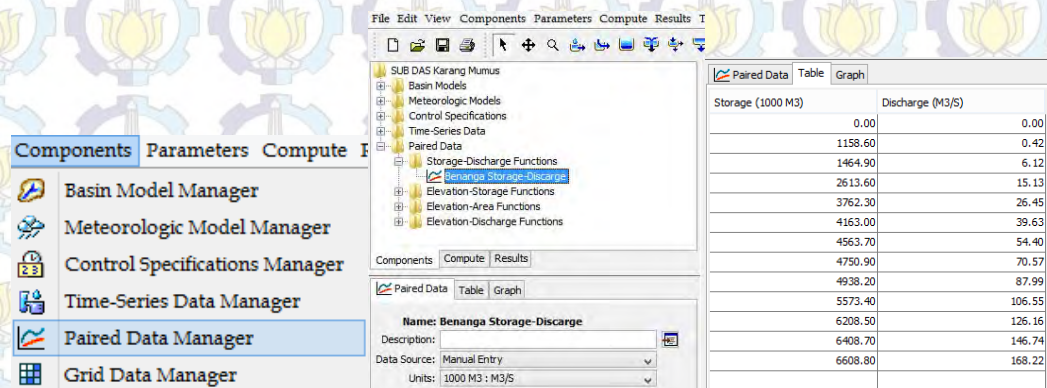
Reservoir merupakan pemodelan tampungan air yang akan telah ada maupun yang akan direncanakan. Pada tesis kali ini digunakan pemodelan reservoir menggunakan metode *Storage-Discharge Method*, terdapat beberapa parameter dalam pemodelan reservoir, diantaranya :

- Storage (Volume tampungan waduk)
- Discharge (Debit outflow pada pelimpah waduk)

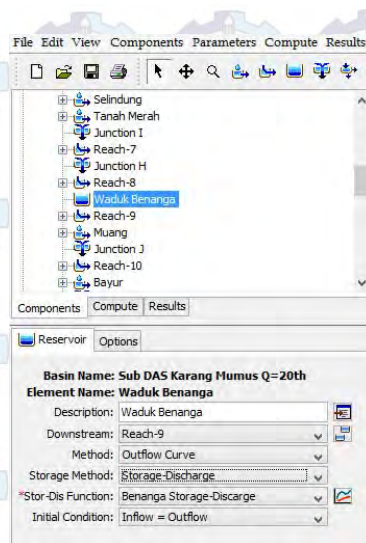
Diketahui :

- Nama Reservoir = Waduk Benanga
- Downstream = Reach-9
- Method = Outflow Curve
- Storage Method = Storage-Discharge
- Stor-Dis Function = Benanga Storage-Discharge
- Initial Condition = Inflow=Outflow

Sebelum memasukkan parameter Stor-Dis Function, maka perlu membuat Komponen dari data Waduk Benanga. Pilih menu *Component* → *Paired Data*. Isikan data yang dibutuhkan sesuai dengan data Waduk Benanga.



Gambar 5.5 Input Parameter *Paired Data*



Gambar 5.6 Input Parameter *Reservoir Model*

5.1.4.3 *Sub-Basin Loss Rate Method (Proses Kehilangan Air)*

Loss Rate Method merupakan cara perhitungan kehilangan air yang terjadi melalui proses infiltrasi. Terdapat 5 metode perhitungan infiltrasi yang tersedia pada HEC-HMS, pada Tesis ini digunakan metode SCS Curve Number Loss Method. SCS Mengembangkan parameter curve number empiris yang mengasumsikan berbagai faktor dari lapisan tanah, tata guna lahan dan porositas untuk menghitung total limpasan curah hujan (Ponce and Hawkins, 1996).

SCS Curve Number terdiri dari beberapa parameter yang harus diinputkan yaitu *Initial Abstraction/Initial Loss* atau Infiltrasi awal, *SCS Curve Number* dan *Impervious* (kekedapan air).

Perhitungan SCS Curve Number dan nilai *Impervious* dapat dilihat pada Lampiran, sedangkan untuk perhitungan *Initial Abstraction* menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{N}{N}$$

Sumber : *Technical Reference Manual of HEC-HMS*, Hal : 38

Berikut rekapitulasi hasil perhitungan parameter Sub-Basin Loss Rate Method :

Tabel 5.56 Hasil Perhitungan Nilai Inital Abstraction

No.	Sub Sub DAS	Initial Abstraction	Curve Number	Impervious (%)
1	SSD Karang Mumus Hulu	64.385	44.103	0.733
2	SSD Pampang Kiri Hulu	74.130	40.663	0.000
3	SSD Pampang Kiri Hilir	37.366	57.619	1.928
4	SSD Pampang Kanan	55.363	47.851	0.000
5	SSD Lubang Putang	70.255	41.964	0.000
6	SSD Lantung	61.296	45.318	1.340
7	SSD Siring	48.740	51.035	3.044
8	SSD Selindung	49.069	50.867	2.796
9	SSD Tanah Merah	58.979	46.275	0.348
10	SSD Binangat	36.359	58.284	4.636
11	SSD Muang	62.358	44.893	0.572
12	SSD Bayur	65.089	43.835	0.754
13A	SSD Benanga A	20.028	71.723	4.023
13B	SSD Benanga B	20.028	71.723	4.023
13C	SSD Benanga C	20.028	71.723	4.023
13D	SSD Benanga D	20.028	71.723	4.023
14	SSD Betapus	35.844	58.631	8.052
15	SSD Lampake	46.796	52.051	9.162
16	SSD Bangkuring	62.321	44.908	12.792
17	SSD Lingai	37.913	57.263	22.023
18	SSD Mugirejo	32.192	61.211	29.969
19	SSD Sempaja	42.696	54.334	16.005
20A	SSD Karang Mumus Hilir	22.628	69.183	48.509
20B	SSD Karang Mumus Hilir	22.628	69.183	48.509

Sumber : Hasil Analisa 2014

5.1.4.4 Sub-Basin Transform (Transformasi hidrograf satuan Limpasan)

Unit hidrograf merupakan metode yang familiar pada sebuah analisa hidrologi. Pada Tesis ini digunakan metode SCS Unit Hydrograph, parameter utama yang diperlukan adalah *Time Lag* atau waktu tenggang. Parameter *Time Lag* diperoleh dengan cara $0.6t_c$ (E.E Daniil, S.N. Michaas, 2005). Parameter tersebut digunakan untuk perhitungan waktu puncak dari hidrograf, secara otomatis model SCS akan membentuk ordinat-ordinat untuk puncak hidrograf dan fungsi waktu. Detail perhitungan *Lag Time* dapat dilihat pada Sub Bab sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggrahini (1996) *Hidrolika Saluran Terbuka*, CV. Citra Media, Surabaya
- Arcement, G. J. dan Schemier, V. R. *Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficient for Natural Channel and Flood Plains*, United State Geological Survey Water- Supply Paper 2339
- Chow, V.T., (1985) *Open Channel Hydraulics*, Erlangga , Jakarta
- Cahyono, Agung Tri (2011) *Perencanaan Pengendalian Banjir Kali Kemuning, Sampang*, Tugas Akhir Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Dake, J. M. K., Tachyan, Endang P. dan Pangaribuan, Y. P. (1985) *Hidrolika Teknik Edisi Kedua*, Erlangga, Jakarta
- Fatmanegara, M. A dan Jatmiko, Retnadi H. (2013) *Pemanfaatan Citra Penginderaan Jauh Multitemporal Untuk Kajian Tingkat Bahaya Erosi (Kasus di Sub DAS Karang Mumus, Kalimantan Timur)*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- French, Richard H. (1985) *Open-Channel Hydraulics*, McGraw-Hill, New York
- Featherstone, R. E. dan Nalluri, C. (1982) *Civil Engineering Hydraulics (Essential Theory with Worked Example)*, Granada Publishing Limited, London
- Haan, Charles T. (1941) *Statistical Method in Hydrology*, The Iowa State University Press, Ames
- Hadisusanto, N. (2010) *Aplikasi Hidrologi*, Jogja Media Utama , Yogyakarta
- Ismail (2007) *Penilaian Kerusakan Daerah Aliran Sungai Pada Sub Sub DAS Bayur Sub DAS Karang Mumus*, RIMBA Kalimantan, Hal : 35-42
- Ismail (2009) *Keseimbangan Air Sub DAS Karang Mumus di Kota Samarinda*, MAKARA, SAINS, Vol. 13

K., Rizal A., Harisuseno, Donny dan Dermawan, Very (2014) *Studi Pengendalian Banjir Kali Wrti Kabupaten Pasuruan*, Jurnal Teknik Pengairan, Vol. 5 Hal: 9-18

Kamiana, I Made (2011) *Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air*, Graha Ilmu, Yogyakarta

Kasiyanti, Nugroho, Joko dan Dwijoyanto, Heriyadi (2012) *Kajian Penanggulangan Banjir Kali Widas Kabupaten Nganjuk Provinsi Jawa Timur*, Master Tesis, Institut Teknologi Bandung, Bandung

Kementrian Pekerjaan Umum (2012) *Sistem Drainase Perkotaan Jilid I*, Jakarta

Kodoatie, R. J. (2013) *Rekayasa dan Manajemen Banjir Kota*, Andy Yogyakarta

Linsey, R. K., Franzini, J. B. dan Sasongko, D (1986) *Teknik Sumber Daya Air*, Erlangga, Jakarta

Mays, Larry W. (2001) *Water Resources Engineering (First Edition)*, John Wiley and Son Inc., New York

Nahlohy, Benjamin J. B., Jayadi, Rahmad dan Istiarto (2008) *Studi Alternatif Pengendalian Banjir Sungai Tondano di Kota Manado*, Forum Teknik Sipil No. XVIII/I

Ramadhani, Adi (2013) *Pemodelan Hidrologi untuk Penentuan Tingkat Prioritas Sub Sub DAS Dalam Pengendalian Banjir Menggunakan Citra Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus : Sub DAS Karang Mumus Samarinda)*, Master Tesis, Jurusan Teknik Lingkungan, UGM Yogyakarta

Sarminingsih, Anik (2007) *Kajian Alternatif Penanggulangan Banjir (Studi Kasus Sungai Ladapa, Gorontalo)*, Jurnal Presipitasi, Vol. 3 No. 2

Shaw, Elizabeth M. (1983) *Hydrology In Practice*, Van Nostrand Reinhold, Berkshire

Soewarno (1995), *Hidrologi Aplikasi Statistik untuk Analisa Data Jilid I*, Nova, Bandung

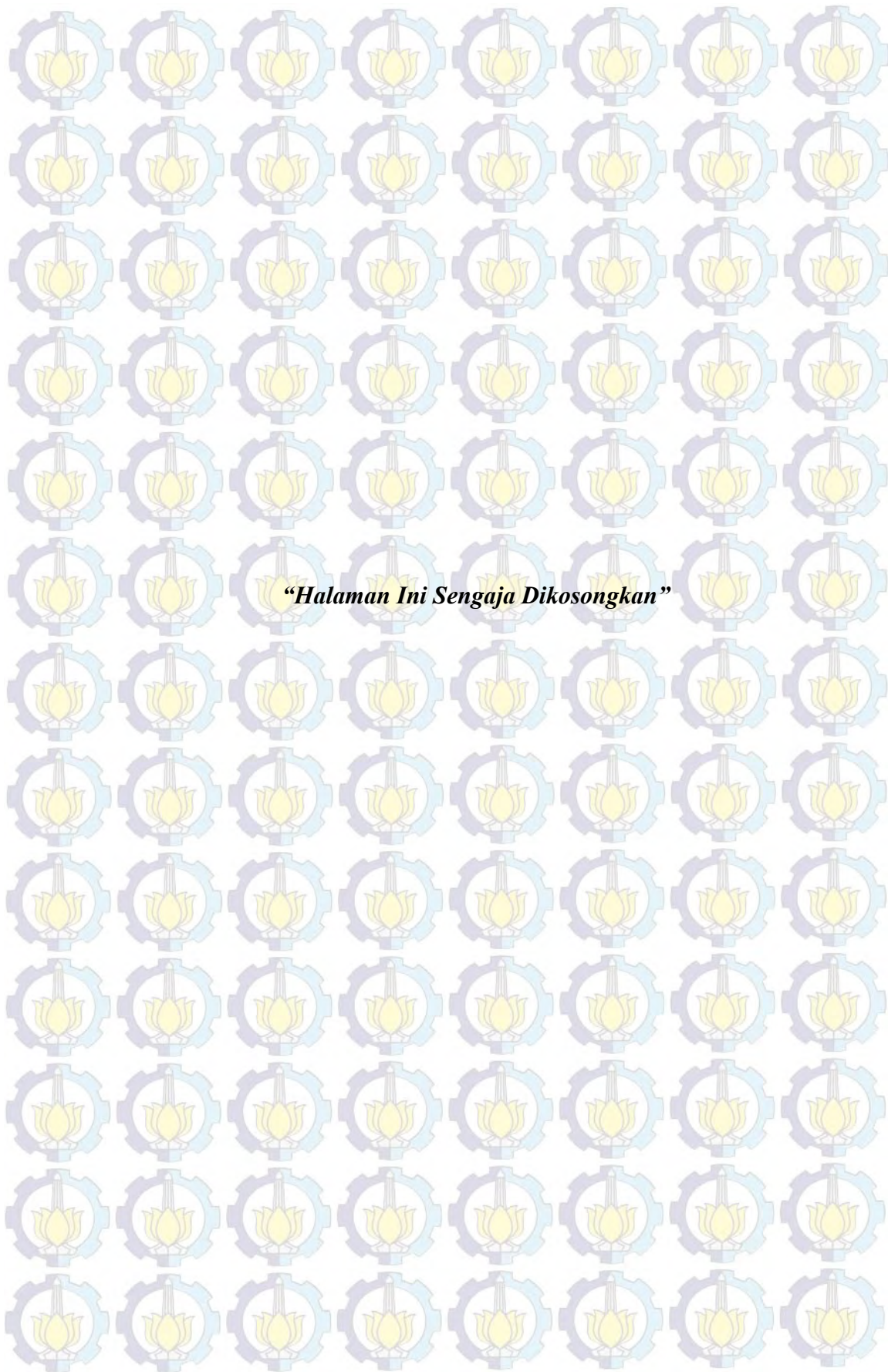
Sosrodarsono, Suyono dan Takeda, Kensaku (1977) *Bendungan Type Urugan*, Pradnya Paramita, Jakarta



U.S. Army Corps of Engineers (2000) *HEC-HMS Technical Reference Manual*,
Davis

U.S. Army Corps of Engineers (2010) *HEC-RAS Hydraulic Reference Manual*,
Davis

Waskito Nugroho, *Evaluasi Pengendalian Banjir Sungai Cibeet Kabupaten
Bekasi*, Master Tesis, Magister Pengelolaan Sumber Daya Air, ITB



BIODATA PENULIS



Riyan Benny Sukmara dilahirkan di Tanah Grogot, 21 Desember 1990, setelah lulus dari SMA Negeri 1 Tanah Grogot, penulis melanjutkan studinya di jenjang Diploma dan lulus pada tahun 2008 di jurusan Diploma Teknik Sipil ITS dengan judul Proyek Akhir “*Perencanaan Embung Grogol, Kabupaten Kediri Jawa Timur*”. Selanjutnya penulis melanjutkan studinya pada jenjang Sarjana di Institut yang sama dan lulus pada tahun 2013 dengan judul Tugas Akhir “*Perencanaan Geometrik dan Perkerasan Jalan Akses Pelabuhan Internasional Socah Bangkalan Madura*”. Ditahun yang sama penulis melanjutkan studinya di jenjang Magister bidang keahlian Manajemen dan Rekayasa Sumber Air – ITS.

Dalam penulisan Tesis ini penulis tidak luput dari kesalahan, sehingga penulis sangat terbuka terhadap saran dan kritik yang diberikan oleh pembaca. Untuk itu penulis memberikan informasi kontak sebagai berikut :

Twitter : @bennysukmara

LinkedIN : Riyan Benny Sukmara

Email : bennysukmara@gmail.com

Blog : www.riyanbennysukmara.blogspot.com

